L'AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE des arbres au Québec

Canada

Québec

101-01511/

L'AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE

des arbres au Québec

Pour plus d'information ou pour obtenir des copies supplémentaires de ce document, communiquez avec:

Direction de la recherche forestière
Forêt Québec, MRN
2700, rue Einstein
Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8
Tél: (418) 643-7994

Direction de la production
des semences et des plants
Forêt Québec, MRN
880, chemin Sainte-Foy, 9e étage
Québec (Québec) G1S 4X4
Tél: (418) 627-8660

ou

Ressources naturelles Canada
Service canadien des forêts - Québec
1055, rue du P.E.P.S.
Sainte-Foy (Québec) G1V 4C7
Tél: (418) 648-5788

© 2000 Gouvernement du Québec
Dépôt légal,
Bibliothèque nationale du Québec, 2000
Bibliothèque nationale du Canada, 2000

ISBN 2-550-36438-4

2000-3106

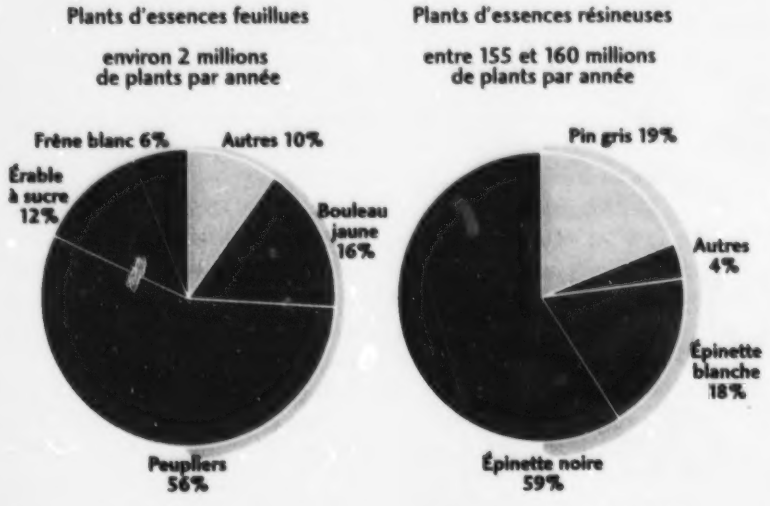
***Ce document est une adaptation de* Tree improvement in British Columbia**

INTRODUCTION

L'amélioration génétique des arbres est une discipline importante et de plus en plus nécessaire au développement forestier du Québec. Dans plusieurs régions, on prélève déjà les allocations maximales permises. Chaque année, près de 400 000 hectares de forêt sont récoltés. Les pertes dues aux insectes, aux maladies et aux incendies ajoutent à la superficie à reboiser. Plus de 150 millions d'arbres sont plantés chaque année sur près de 20 % de la superficie exploitée, le reste se régénérant naturellement.

Pour demeurer compétitif sur les marchés internationaux, on doit faire croître davantage de matière ligneuse sur une superficie de plus en plus restreinte. Puisqu'on peut difficilement accroître la superficie boisée, on a accentué la recherche et accompli d'énormes progrès dans le domaine de l'amélioration génétique des arbres pour satisfaire les besoins en reboisement avec des semences de qualité.

L'amélioration génétique des arbres consiste en la reproduction sélective d'individus ayant des caractéristiques désirables. Lorsque combinée à des pratiques sylvicoles appropriées, l'application des principes génétiques permet de préserver ou d'améliorer la qualité et les caractéristiques de croissance des arbres utilisés pour le reboisement. Bien qu'on vise le plus souvent une augmentation du volume de la tige, les améliorations génétiques relatives à la résistance aux maladies et à la qualité du fût, du bois et des fibres peuvent avoir une aussi grande importance selon les essences. L'amélioration des arbres peut accroître le volume et la valeur des futures récoltes et constituer ainsi un élément essentiel de la stratégie à long terme visant à maintenir et même à augmenter les approvisionnements en bois.



Les besoins en plants dans le cadre du programme de reboisement sur les terrains publics et privés s'élèvent en moyenne à plus de 150 millions d'arbres. Cette figure montre la répartition des plants livrés par espèce ou groupe d'espèces.

Le principal apport des activités d'amélioration des arbres au cours des ans a été de constituer les populations pour établir les vergers à graines, grâce à un cycle continu de sélection, de croisements (hybridation) et de testage (essais sur le terrain). Des programmes d'amélioration existent pour les essences commerciales les plus importantes: épinette noire, épinette blanche, épinette de Norvège, pin gris, pin blanc, mélèzes et peupliers.

Les semences génétiquement améliorées produites dans les vergers sont le fruit de plus de 30 années de recherche et de développement dans le domaine de l'amélioration génétique des arbres au Québec. Elles représentaient en 1999 près de 35 % des semences requises par le programme actuel de reboisement. Lorsque les vergers produiront à pleine capacité, soit vers 2005, ils pourront combler 85 % des besoins.

Les travaux de recherche sont essentiels pour que les programmes d'amélioration des arbres et des vergers à graines soient fructueux.

Ils permettent d'améliorer l'efficacité, la qualité et la rentabilité de toutes les étapes de l'amélioration génétique. Toutefois, les gains ne se concrétiseront que si toutes les étapes de la sylviculture sont bien menées. On doit donc appliquer les meilleures méthodes dans le traitement des semences et la production des plants, bien choisir les espèces et les provenances, préparer les sites avec soin et bien établir et entretenir les plantations.

HISTORIQUE ET ORGANISATION

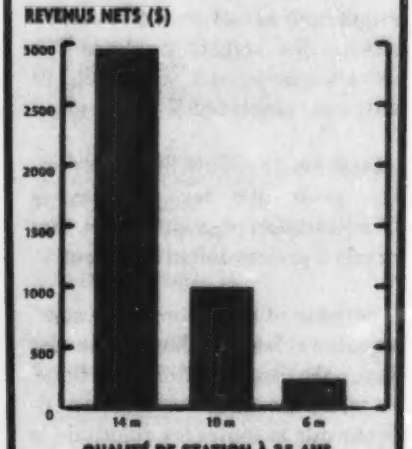
Bien que les divers programmes d'amélioration génétique des arbres forestiers n'aient été mis en place au Québec que durant les années 60 et 70, les travaux de recherche dans ce domaine ont débuté il y a plus d'un siècle. En effet, dès 1882, Henri-Gustave Joly de Lotbinière introduisait des noyers noirs à la Pointe du Platon, hors de leur aire naturelle de répartition. Puis, au début du 20e siècle, on introduisait des espèces exotiques, comme l'épinette de Norvège et le pin sylvestre. À cette époque, l'origine des semences n'était pas notée. Cependant, les rendements exceptionnels obtenus et les variations observées ont montré tout le potentiel de l'utilisation de bonnes sources de semences.

Entre l'époque des travaux des pionniers et celle de l'instauration des programmes d'amélioration génétique, des travaux de recherche ont été effectués pour l'essentiel sous la supervision des généticiens forestiers de l'Institut forestier national de Petawawa du Service canadien des forêts (SCF). Grâce à une régionalisation des efforts de recherche au sein du SCF au cours des années 60, deux généticiens ont été engagés pour la première fois par le SCF-Québec. Avec les efforts déployés à l'Université Laval dans l'enseignement de la génétique forestière, cela constituait la première étape de la prise en charge des programmes d'amélioration génétique des arbres par les organismes de recherche situés au Québec. L'échantillonnage des populations des essences forestières indigènes tout comme l'étude de leur variabilité génétique ont donc pris de l'ampleur à partir de cette période.

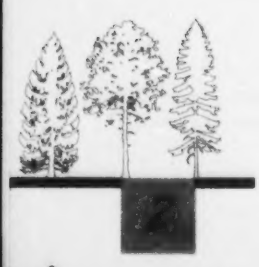
En 1969, un programme général d'amélioration des arbres forestiers était instauré au ministère des Terres et Forêts du gouvernement du Québec. Les objectifs principaux étaient de préciser le choix des espèces et des provenances à planter selon les stations et les régions écologiques, d'améliorer la qualité génétique des plants destinés au reboisement et de diversifier les espèces utilisées pour accroître la production et la rentabilité des plantations. L'année suivante, un comité d'amélioration génétique des arbres forestiers, rassemblant tous les chercheurs intéressés, était constitué, avec mandat de coordonner les activités de recherche en amélioration génétique, d'examiner les stratégies d'amélioration proposées et de recommander les meilleures sources de semences pour le reboisement. Au cours des années 70, les généticiens du SCF-Québec ont pris en charge les programmes d'amélioration génétique de l'épinette blanche et du pin blanc et ils ont partagé cette responsabilité avec ceux du ministère des Ressources naturelles du Québec (MRNQ) pour l'épinette de Norvège. Ce partage des responsabilités a duré jusqu'en 1996, année où le SCF a renoncé à tout engagement dans la conduite des programmes d'amélioration génétique à la suite de la révision des dépenses et des programmes du gouvernement fédéral. Depuis, l'amélioration génétique des arbres est sous le contrôle des généticiens du MRNQ; ceux du SCF se consacrent à des recherches de nature fondamentale en génécologie (génétique écologique), en génétique quantitative, en étude du génome (ensemble du matériel génétique), en culture *in vitro*, en génie génétique et en biodiversité.

IMPACT ÉCONOMIQUE DE L'AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE

Les gouvernements participent activement aux programmes d'amélioration génétique des arbres et des vergers à graines parce que les avantages potentiels à long terme justifient largement les investissements. Une étude sur l'impact économique de l'amélioration génétique de l'épinette de Norvège a démontré que les coûts de la recherche associée à l'identification des provenances recommandées seraient amortis en moins d'une année. Les revenus additionnels pour les finances publiques (fédérales et provinciales) liés à l'utilisation de semences génétiquement améliorées représentent une augmentation pouvant atteindre jusqu'à 27 % sur les stations les plus riches. Les revenus additionnels escomptés sont proportionnels à la qualité des stations où les plants améliorés sont établis.



Revenus nets additionnels par hectare, en dollars actualisés, pour les finances publiques et qui découlent de l'utilisation de plants améliorés d'épinette de Norvège.



Il a été long et difficile de susciter au Québec de l'intérêt pour les travaux de génétique forestière et d'amélioration des arbres à cause de l'abondance et de l'omniprésence de la forêt. Toutefois, l'augmentation croissante de la demande mondiale pour les produits forestiers, l'augmentation des coûts de récolte consécutifs à l'éloignement des sources d'approvisionnement et l'insuffisance de la régénération dans de nombreuses régions ont amené les gestionnaires de la forêt à proposer une intensification des efforts de reboisement. Dans les années 80, l'objectif annuel a été porté à 300 millions de plants, mais n'a jamais été véritablement atteint. Une fois les superficies en arrérage reboisées, les objectifs ont été révisés à la baisse, et, maintenant, le nombre de plants mis en terre chaque année est plutôt de l'ordre de 150 millions.

Ensemencement d'un test de descendances.

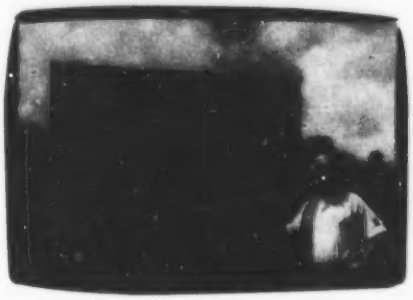
Il va sans dire que plusieurs centaines de millions de graines de diverses essences et de bonne qualité génétique étaient nécessaires pour l'atteinte de cet objectif de reboisement. C'est alors que furent implantés, au début des années 80, quelque 80 vergers à graines de première génération constitués en grande partie d'arbres-plus sélectionnés en forêt naturelle sur une base régionale. En 1996, les travaux d'implantation d'une nouvelle génération de vergers à graines pour l'épinette blanche et l'épinette noire étaient entrepris, cette fois à partir de sources testées et recommandées par les responsables de l'amélioration génétique.

Saucier et al. 1998

Localisation, par domaine bioclimatique, des 1 680 dispositifs expérimentaux de génétique forestière du MRNQ (1969-1998).

PRINCIPALES ESSENCES FAISANT L'OBJET DE PROGRAMMES D'AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE:

- L'Épinette noire
- Le Pin gris
- L'Épinette blanche
- L'Épinette de Norvège
- Les mélèzes laricin, d'Europe, du Japon et hybrides
- Le Pin blanc
- Les peupliers hybrides
- Les feuillus nobles



Réseau de démonstration des gains génétiques.

Au cours des années, plusieurs installations permanentes ont été mises en place pour faciliter la recherche en amélioration génétique, notamment des stations forestières fédérales et provinciales où de nombreux tests génétiques (plantations comparatives) ont été installés. On compte également des pépinières, un centre de greffage ainsi que des serres servant à l'induction florale, c'est-à-dire à la stimulation de la production de fleurs. Des arboretums, qui sont des plantations d'arbres de plusieurs espèces, ont été créés, de même que plusieurs

HISTORIQUE ET ORGANISATION

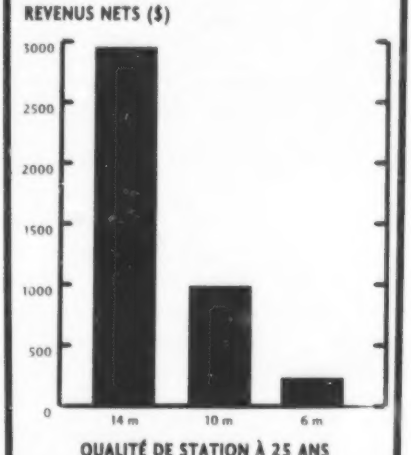
Bien que les divers programmes d'amélioration génétique des arbres forestiers n'aient été mis en place au Québec que durant les années 60 et 70, les travaux de recherche dans ce domaine ont débuté il y a plus d'un siècle. En effet, dès 1882, Henri-Gustave Joly de Lotbinière introduisait des noyers noirs à la Pointe du Platon, hors de leur aire naturelle de répartition. Puis, au début du 20e siècle, on introduisait des espèces exotiques, comme l'épinette de Norvège et le pin sylvestre. À cette époque, l'origine des semences n'était pas notée. Cependant, les rendements exceptionnels obtenus et les variations observées ont montré tout le potentiel de l'utilisation de bonnes sources de semences.

Entre l'époque des travaux des pionniers et celle de l'instauration des programmes d'amélioration génétique, des travaux de recherche ont été effectués pour l'essentiel sous la supervision des généticiens forestiers de l'Institut forestier national de Petawawa du Service canadien des forêts (SCF). Grâce à une régionalisation des efforts de recherche au sein du SCF au cours des années 60, deux généticiens ont été engagés pour la première fois par le SCF-Québec. Avec les efforts déployés à l'Université Laval dans l'enseignement de la génétique forestière, cela constituait la première étape de la prise en charge des programmes d'amélioration génétique des arbres par les organismes de recherche situés au Québec. L'échantillonnage des populations des essences forestières indigènes tout comme l'étude de leur variabilité génétique ont donc pris de l'ampleur à partir de cette période.

En 1969, un programme général d'amélioration des arbres forestiers était instauré au ministère des Terres et Forêts du gouvernement du Québec. Les objectifs principaux étaient de préciser le choix des espèces et des provenances à planter selon les stations et les régions écologiques, d'améliorer la qualité génétique des plants destinés au reboisement et de diversifier les espèces utilisées pour accroître la production et la rentabilité des plantations. L'année suivante, un comité d'amélioration génétique des arbres forestiers, rassemblant tous les chercheurs intéressés, était constitué, avec mandat de coordonner les activités de recherche en amélioration génétique, d'examiner les stratégies d'amélioration proposées et de recommander les meilleures sources de semences pour le reboisement. Au cours des années 70, les généticiens du SCF-Québec ont pris en charge les programmes d'amélioration génétique de l'épinette blanche et du pin blanc et ils ont partagé cette responsabilité avec ceux du ministère des Ressources naturelles du Québec (MRNQ) pour l'épinette de Norvège. Ce partage des responsabilités a duré jusqu'en 1996, année où le SCF a renoncé à tout engagement dans la conduite des programmes d'amélioration génétique à la suite de la révision des dépenses et des programmes du gouvernement fédéral. Depuis, l'amélioration génétique des arbres est sous le contrôle des généticiens du MRNQ; ceux du SCF se consacrent à des recherches de nature fondamentale en génécologie (génétique écologique), en génétique quantitative, en étude du génome (ensemble du matériel génétique), en culture *in vitro*, en génie génétique et en biodiversité.

IMPACT ÉCONOMIQUE DE L'AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE

Les gouvernements participent activement aux programmes d'amélioration génétique des arbres et des vergers à graines parce que les avantages potentiels à long terme justifient largement les investissements. Une étude sur l'impact économique de l'amélioration génétique de l'épinette de Norvège a démontré que les coûts de la recherche associée à l'identification des provenances recommandées seraient amortis en moins d'une année. Les revenus additionnels pour les finances publiques (fédérales et provinciales) liés à l'utilisation de semences génétiquement améliorées représentent une augmentation pouvant atteindre jusqu'à 27 % sur les stations les plus riches. Les revenus additionnels escomptés sont proportionnels à la qualité des stations où les plants améliorés sont établis.

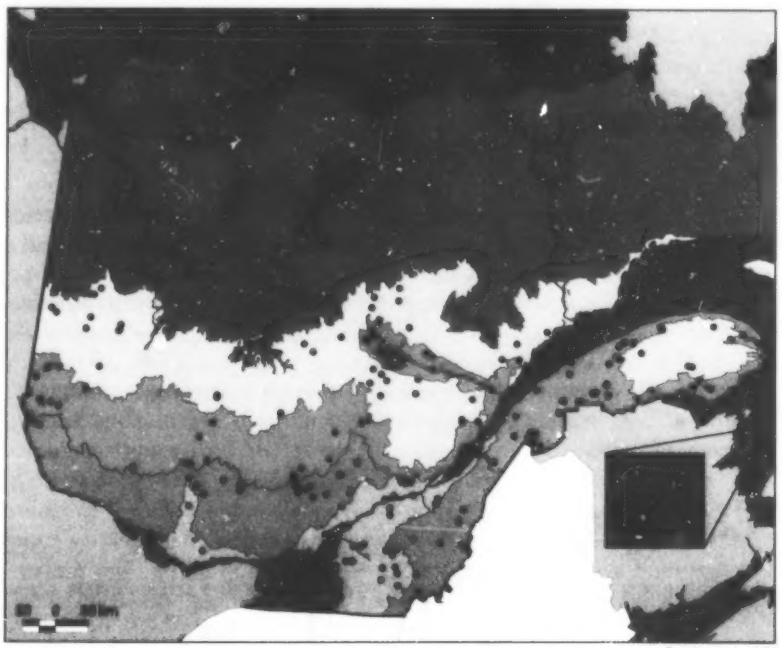


Revenus nets additionnels par hectare, en dollars actualisés, pour les finances publiques et qui découlent de l'utilisation de plants améliorés d'épinette de Norvège.

Il a été long et difficile de susciter au Québec de l'intérêt pour les travaux de génétique forestière et d'amélioration des arbres à cause de l'abondance et de l'omniprésence de la forêt. Toutefois, l'augmentation croissante de la demande mondiale pour les produits forestiers, l'augmentation des coûts de récolte consécutifs à l'éloignement des sources d'approvisionnement et l'insuffisance de la régénération dans de nombreuses régions ont amené les gestionnaires de la forêt à proposer une intensification des efforts de reboisement. Dans les années 80, l'objectif annuel a été porté à 300 millions de plants, mais n'a jamais été véritablement atteint. Une fois les superficies en arrérage reboisées, les objectifs ont été révisés à la baisse, et, maintenant, le nombre de plants mis en terre chaque année est plutôt de l'ordre de 150 millions.

Ensemencement d'un test de descendances.

Il va sans dire que plusieurs centaines de millions de graines de diverses essences et de bonne qualité génétique étaient nécessaires pour l'atteinte de cet objectif de reboisement. C'est alors que furent implantés, au début des années 80, quelque 80 vergers à graines de première génération constitués en grande partie d'arbres-plus sélectionnés en forêt naturelle sur une base régionale. En 1996, les travaux d'implantation d'une nouvelle génération de vergers à graines pour l'épinette blanche et l'épinette noire étaient entrepris, cette fois à partir de sources testées et recommandées par les responsables de l'amélioration génétique.

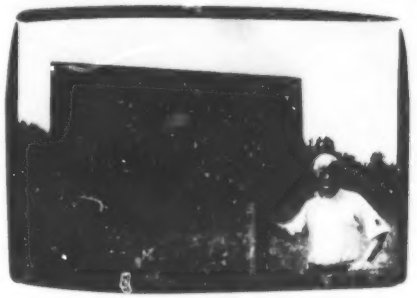


Saucier et al. 1998

Localisation, par domaine bioclimatique, des 1 680 dispositifs expérimentaux de génétique forestière du MRNQ (1969-1998).

PRINCIPALES ESSENCES FAISANT L'OBJET DE PROGRAMMES D'AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE:

- L'Épinette noire
- Le Pin gris
- L'Épinette blanche
- L'Épinette de Norvège
- Les mélèzes laricin, d'Europe, du Japon et hybrides
- Le Pin blanc
- Les peupliers hybrides
- Les feuillus nobles



Réseau de démonstration des gains génétiques.

Au cours des années, plusieurs installations permanentes ont été mises en place pour faciliter la recherche en amélioration génétique, notamment des stations forestières fédérales et provinciales où de nombreux tests génétiques (plantations comparatives) ont été installés. On compte également des pépinières, un centre de greffage ainsi que des serres servant à l'induction florale, c'est-à-dire à la stimulation de la production de fleurs. Des arboretums, qui sont des plantations d'arbres de plusieurs espèces, ont été créés, de même que plusieurs

centaines de dispositifs expérimentaux où on mène des études sur les espèces indigènes et exotiques. Un centre de bouturage visant à multiplier des variétés multifamiliales pour le reboisement a aussi été construit par le MRNQ à Saint-Modeste, près de Rivière-du-Loup. Les généticiens forestiers peuvent aussi compter sur des installations modernes au SCF-Québec, à la Direction de la recherche forestière du MRNQ et dans les universités.

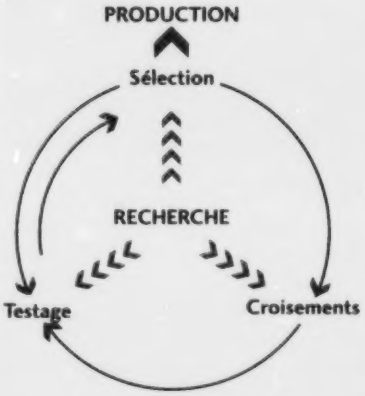
DIRECTION DE LA RECHERCHE FORESTIÈRE ET DIRECTION DE LA PRODUCTION DES SEMENCES ET DES PLANTS

L'amélioration génétique des arbres forestiers et la production de semences et de plants relèvent administrativement de deux directions du MRNQ, soit, respectivement, celle de la recherche forestière et celle de la production des semences et des plants. Ces deux directions font partie de la Direction générale du Fonds forestier relevant de Forêt Québec. La Direction de la recherche forestière est responsable des activités de recherche sur les croisements, le testage et la sélection du matériel génétiquement supérieur. C'est de cette même direction que relève la recherche sur la reproduction des arbres, la production de plants ainsi que l'aménagement des plantations.

Pour sa part, la Direction de la production des semences et des plants (DPSP) a pour mission d'assurer la production de semences et de plants de la meilleure qualité et au meilleur coût. Elle planifie et gère toutes les activités liées à la production des plants dans six pépinières gouvernementales et 21 centres de production du secteur privé. En outre, la DPSP est responsable de l'aménagement des vergers à graines, de la réalisation des croisements dirigés et de la pollinisation de masse ainsi que de la récolte des cônes dont l'extraction des graines est confiée au Centre de semences forestières de Berthier. La DPSP gère actuellement 94 vergers à graines de première génération couvrant près de 1 200 ha et fournissant des graines de qualité de 17 espèces forestières. Elle a également établi tout récemment trois nouveaux vergers à graines de deuxième génération pour l'épinette blanche et pour l'épinette noire.

PROCESSUS D'AMÉLIORATION DES ARBRES

Les stratégies d'amélioration des arbres sont adaptées à chaque essence et sont fonction de facteurs comme la biologie de la reproduction, la distribution géographique, l'ampleur de la variation tant du phénotype (caractères physiques) que du génotype (constitution héréditaire), la disponibilité de données d'essais de provenances, l'importance des sélections d'arbres-plus et les besoins présents et à venir en matière de plantation.



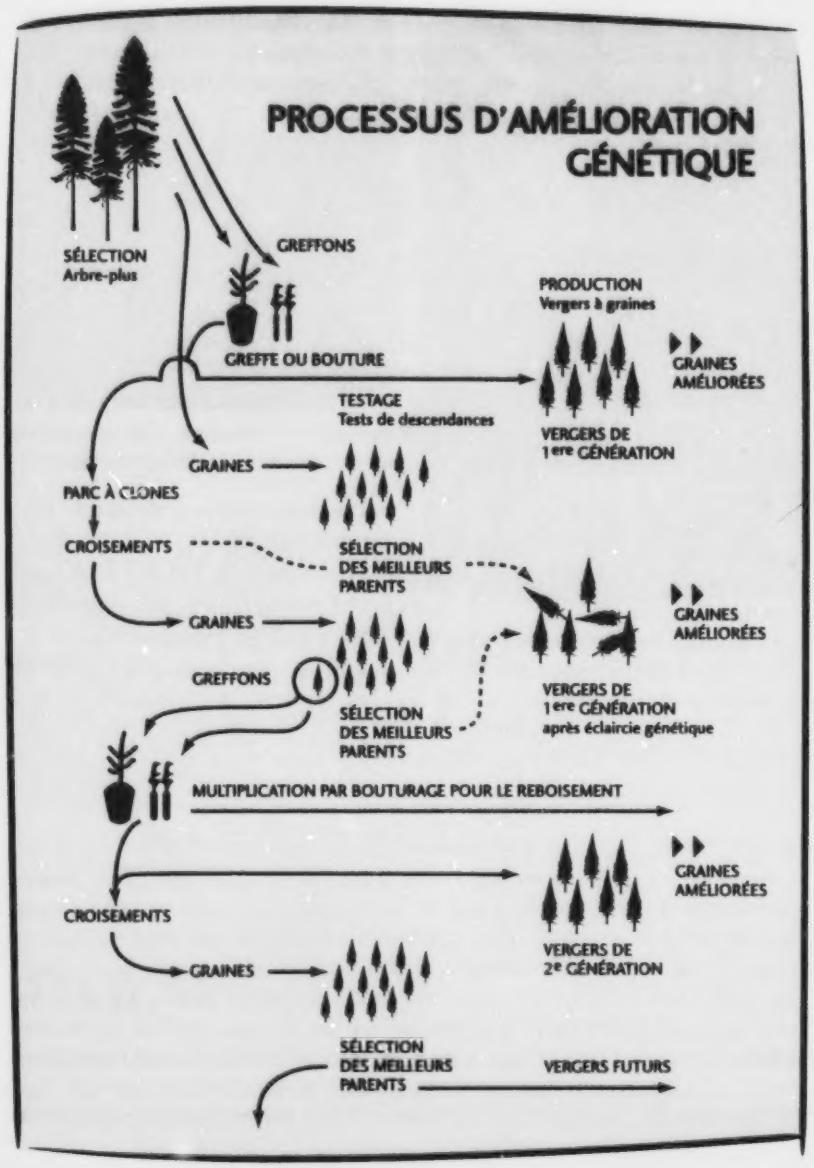
Le cycle de l'amélioration génétique des arbres

Le cycle de l'amélioration génétique des arbres forestiers est un cycle continu de sélection, de croisement et de testage. À chaque cycle, on accroît la qualité génétique du matériel destiné à la production.

L'amélioration génétique des arbres s'effectue suivant un processus qui comprend un cycle continu de sélection, de testage et de croisements grâce auquel la qualité génétique d'une essence est améliorée. On tire ensuite profit des gains obtenus en utilisant des semences produites dans des vergers à graines ou encore des boutures lorsque cela est possible. L'amélioration des arbres exige beaucoup de temps; il peut s'écouler dix ans avant que le testage ne donne des résultats utiles, et plusieurs autres années avant que les vergers à graines ne commencent à produire des quantités substantielles de semences améliorées. Des travaux de recherche se poursuivent dans le but de réduire le temps nécessaire pour compléter ce cycle et d'améliorer les méthodes de sélection, de testage et de croisements.

SÉLECTION

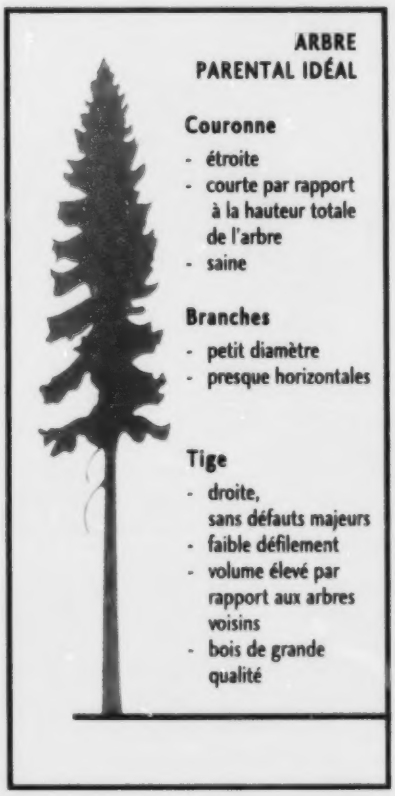
La première étape du processus d'amélioration des arbres est la sélection d'arbres-plus dans les peuplements naturels. Les sélections sont fondées sur le phénotype des arbres, ceux qui sont choisis étant supérieurs aux chapitres de la croissance, de la forme ou de toute autre



caractéristique importante, comme la résistance aux maladies et la qualité du bois.

Les critères de sélection peuvent différer selon les essences visées et changer durant le processus d'amélioration au fur et à mesure que de nouvelles caractéristiques sont prises en considération. De même, les caractères d'origine peuvent devenir suffisamment améliorés pour qu'on puisse relâcher les efforts de sélection les concernant. Les arbres sélectionnés pour les vergers à graines peuvent appartenir à des lignées comportant un certain nombre de caractères désirables ou un caractère bien précis sur lequel on met fortement l'accent, comme la résistance à la rouille vésiculeuse chez le pin blanc, par exemple.

Pour préserver le génotype de chaque arbre-plus sélectionné, chacun est multiplié végétativement par greffage ou bouturage afin de l'intégrer au processus d'amélioration. On peut créer des vergers à graines clonaux de première génération avec des clones des sélections initiales d'arbres-plus, même si les parents n'ont fait l'objet d'aucun test et que leur valeur génétique est par conséquent inconnue. Des gains génétiques peuvent être réalisés dans les vergers de première génération étant donné que les caractères sélectionnés font l'objet d'un certain contrôle génétique et que la fréquence des croisements entre arbres apparentés y est réduite.



centaines de dispositifs expérimentaux où on mène des études sur les espèces indigènes et exotiques. Un centre de bouturage visant à multiplier des variétés multifamiliales pour le reboisement a aussi été construit par le MRNQ à Saint-Modeste, près de Rivière-du-Loup. Les généticiens forestiers peuvent aussi compter sur des installations modernes au SCF-Québec, à la Direction de la recherche forestière du MRNQ et dans les universités.

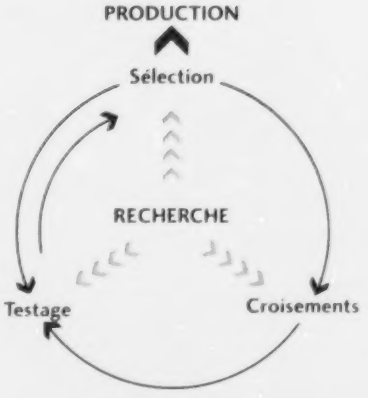
DIRECTION DE LA RECHERCHE FORESTIÈRE ET DIRECTION DE LA PRODUCTION DES SEMENCES ET DES PLANTS

L'amélioration génétique des arbres forestiers et la production de semences et de plants relèvent administrativement de deux directions du MRNQ, soit, respectivement, celle de la recherche forestière et celle de la production des semences et des plants. Ces deux directions font partie de la Direction générale du Fonds forestier relevant de Forêt Québec. La Direction de la recherche forestière est responsable des activités de recherche sur les croisements, le testage et la sélection du matériel génétiquement supérieur. C'est de cette même direction que relève la recherche sur la reproduction des arbres, la production de plants ainsi que l'aménagement des plantations.

Pour sa part, la Direction de la production des semences et des plants (DPSP) a pour mission d'assurer la production de semences et de plants de la meilleure qualité et au meilleur coût. Elle planifie et gère toutes les activités liées à la production des plants dans six pépinières gouvernementales et 21 centres de production du secteur privé. En outre, la DPSP est responsable de l'aménagement des vergers à graines, de la réalisation des croisements dirigés et de la pollinisation de masse ainsi que de la récolte des cônes dont l'extraction des graines est confiée au Centre de semences forestières de Berthier. La DPSP gère actuellement 94 vergers à graines de première génération couvrant près de 1 200 ha et fournissant des graines de qualité de 17 espèces forestières. Elle a également établi tout récemment trois nouveaux vergers à graines de deuxième génération pour l'épinette blanche et pour l'épinette noire.

PROCESSUS D'AMÉLIORATION DES ARBRES

Les stratégies d'amélioration des arbres sont adaptées à chaque essence et sont fonction de facteurs comme la biologie de la reproduction, la distribution géographique, l'ampleur de la variation tant du phénotype (caractères physiques) que du génotype (constitution héréditaire), la disponibilité de données d'essais de provenances, l'importance des sélections d'arbres-plus et les besoins présents et à venir en matière de plantation.



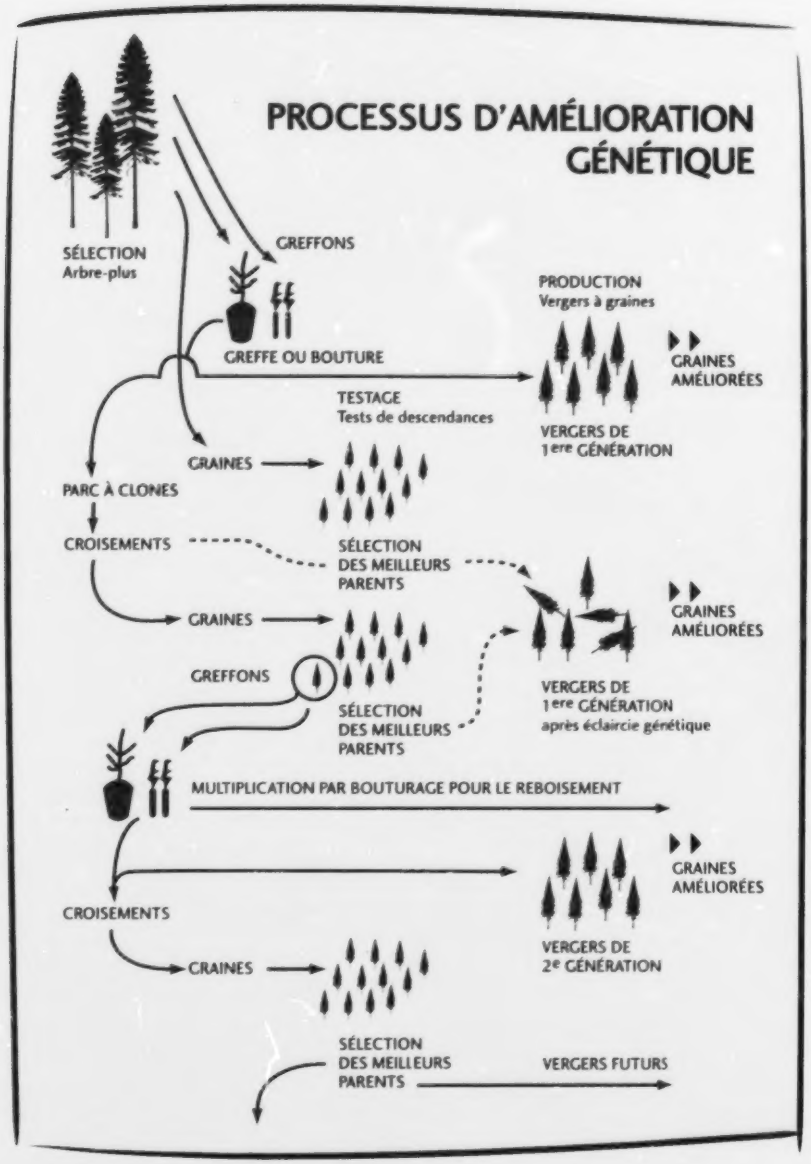
Le cycle de l'amélioration génétique des arbres

Le cycle de l'amélioration génétique des arbres forestiers est un cycle continu de sélection, de croisement et de testage. À chaque cycle, on accroît la qualité génétique du matériel destiné à la production.

L'amélioration génétique des arbres s'effectue suivant un processus qui comprend un cycle continu de sélection, de testage et de croisements grâce auquel la qualité génétique d'une essence est améliorée. On tire ensuite profit des gains obtenus en utilisant des semences produites dans des vergers à graines ou encore des boutures lorsque cela est possible. L'amélioration des arbres exige beaucoup de temps: il peut s'écouler dix ans avant que le testage ne donne des résultats utiles, et plusieurs autres années avant que les vergers à graines ne commencent à produire des quantités substantielles de semences améliorées. Des travaux de recherche se poursuivent dans le but de réduire le temps nécessaire pour compléter ce cycle et d'améliorer les méthodes de sélection, de testage et de croisements.

SÉLECTION

La première étape du processus d'amélioration des arbres est la sélection d'arbres-plus dans les peuplements naturels. Les sélections sont fondées sur le phénotype des arbres, ceux qui sont choisis étant supérieurs aux chapitres de la croissance, de la forme ou de toute autre



caractéristique importante, comme la résistance aux maladies et la qualité du bois.

Les critères de sélection peuvent différer selon les essences visées et changer durant le processus d'amélioration au fur et à mesure que de nouvelles caractéristiques sont prises en considération. De même, les caractères d'origine peuvent devenir suffisamment améliorés pour qu'on puisse relâcher les efforts de sélection les concernant. Les arbres sélectionnés pour les vergers à graines peuvent appartenir à des lignées comportant un certain nombre de caractères désirables ou un caractère bien précis sur lequel on met fortement l'accent, comme la résistance à la rouille vésiculeuse chez le pin blanc, par exemple.

Pour préserver le génotype de chaque arbre-plus sélectionné, chacun est multiplié végétativement par greffage ou bouturage afin de l'intégrer au processus d'amélioration. On peut créer des vergers à graines clonaux de première génération avec des clones des sélections initiales d'arbres-plus, même si les parents n'ont fait l'objet d'aucun test et que leur valeur génétique est par conséquent inconnue. Des gains génétiques peuvent être réalisés dans les vergers de première génération étant donné que les caractères sélectionnés font l'objet d'un certain contrôle génétique et que la fréquence des croisements entre arbres apparentés y est réduite.

ARBRE PARENTAL IDÉAL

Couronne

- étroite
- courte par rapport à la hauteur totale de l'arbre
- saine

Branches

- petit diamètre
- presque horizontales

Tige

- droite, sans défauts majeurs
- faible défilement
- volume élevé par rapport aux arbres voisins
- bois de grande qualité

La sélection, étape essentielle du cycle continu d'amélioration des arbres, ne s'exerce pas seulement sur le phénotype des arbres-plus initialement choisis. Chaque nouvelle génération d'arbres obtenue par croisements est testée, et les sélections subséquentes serviront à la constitution des futurs vergers à graines.

RECHERCHE SUR LES PROVENANCES

La recherche sur les provenances vise principalement à évaluer les tendances géographiques de la variation naturelle. Le mot «provenance» désigne l'origine géographique des semences, et un essai de provenances est une plantation comparative avec répétitions dans laquelle des plants issus de semences de diverses régions sont cultivés dans des conditions similaires. Les tendances géographiques dégagées par les essais de provenances permettent d'établir des règles pour le transfert de semences et la sélection de sources de semences productives et adaptées pour le reboisement.

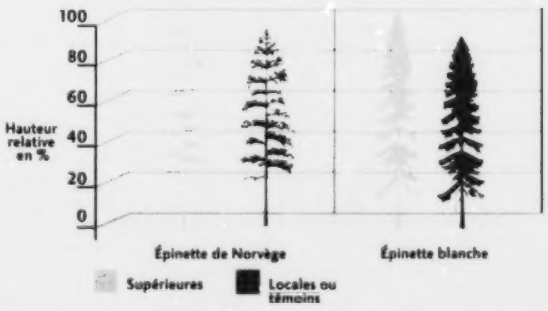
La recherche sur les provenances au Québec a débuté à la fin des années 50 sous la direction du Service canadien des forêts en collaboration avec le ministère des Terres et Forêts du Québec, l'Université Laval et quelques compagnies forestières. À ce jour, on évalue à plus de 1 000 le nombre de dispositifs expérimentaux mis en place au Québec pour étudier la variabilité génétique de nos espèces forestières. Les résultats des essais de provenances ont permis aux généticiens de formuler des directives précises en matière de zones d'amélioration génétique et de règles pour le transfert des semences en se basant sur la classification écologique du territoire.

À long terme, l'objectif des programmes de recherche sur les essais de provenances est de poursuivre l'évaluation du matériel testé. Les évaluations mettront l'accent sur la qualité des tiges et les dommages causés par les ravageurs et le climat, ainsi que sur la croissance. Les informations et l'expérience accumulées seront utilisées par les généticiens pour poursuivre les travaux d'amélioration et par les forestiers pour améliorer les pratiques sylvicoles dans les plantations. Ce réseau d'essais de provenances est également précieux pour la recherche interdisciplinaire dans

CONSERVATION DES GÈNES

Les programmes d'amélioration des arbres auront notamment pour conséquence de favoriser, dans une population, les gènes liés aux caractères soumis à l'amélioration. Par ailleurs, les vergers à graines permettront d'élargir le bassin de gènes et d'augmenter la diversité génétique, du fait que les croisements se font entre arbres parentaux qui, en milieu naturel, étaient trop éloignés les uns des autres pour faire l'objet d'une pollinisation croisée.

La sélection d'arbres toujours supérieurs d'une génération à l'autre pourrait avoir pour effet de réduire la variabilité génétique d'une espèce jusqu'à un point où ne subsisteraient que quelques génotypes. En agriculture, on a observé un appauvrissement marqué du patrimoine génétique parce que les plantes sont cultivées depuis très longtemps et qu'on cherche à obtenir des cultures homogènes. Les peuplements forestiers doivent cependant demeurer hétérogènes pour résister aux caprices de la nature durant leur longue vie. C'est pourquoi les généticiens forestiers établissent des protocoles d'hybridation assurant des croisements non consanguins pour maintenir la diversité génétique, tout en fournissant des gains acceptables à long terme. À la différence des agriculteurs, les forestiers peuvent maintenir intact le génotype de chaque arbre sélectionné en procédant à sa multiplication végétative. Ainsi, chaque verger à graines ou banque de clones est une réserve de gènes, et chaque plantation constitue une source de gènes qui pourra être utilisée pour empêcher l'appauvrissement du patrimoine génétique.



Grâce à des essais de provenances, des sources de semences d'épinette blanche et d'épinette de Norvège très productives ont été identifiées. Par exemple, des semences d'épinette blanche du sud de l'Ontario ont montré une croissance en hauteur supérieure de 20 % à celle des semences locales sur une période de 20 ans. Cette supériorité en hauteur s'est traduite à 25 ans en un volume de 30 à 50 % supérieur selon les sites. Pour l'épinette de Norvège, 16 ans après la plantation, les essais ont permis d'identifier des sources offrant une supériorité en hauteur de 10 % par rapport à un ensemble de sources testées, y compris quelques plantations du Québec.

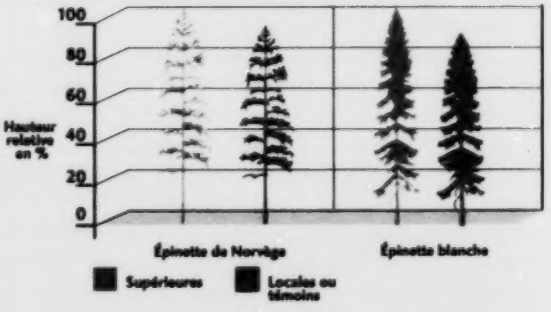
La sélection, étape essentielle du cycle continu d'amélioration des arbres, ne s'exerce pas seulement sur le phénotype des arbres-plus initialement choisis. Chaque nouvelle génération d'arbres obtenue par croisements est testée, et les sélections subséquentes serviront à la constitution des futurs vergers à graines.

RECHERCHE SUR LES PROVENANCES

La recherche sur les provenances vise principalement à évaluer les tendances géographiques de la variation naturelle. Le mot «provenance» désigne l'origine géographique des semences, et un essai de provenances est une plantation comparative avec répétitions dans laquelle des plants issus de semences de diverses régions sont cultivés dans des conditions similaires. Les tendances géographiques dégagées par les essais de provenances permettent d'établir des règles pour le transfert de semences et la sélection de sources de semences productives et adaptées pour le reboisement.

La recherche sur les provenances au Québec a débuté à la fin des années 50 sous la direction du Service canadien des forêts en collaboration avec le ministère des Terres et Forêts du Québec, l'Université Laval et quelques compagnies forestières. À ce jour, on évalue à plus de 1 000 le nombre de dispositifs expérimentaux mis en place au Québec pour étudier la variabilité génétique de nos espèces forestières. Les résultats des essais de provenances ont permis aux généticiens de formuler des directives précises en matière de zones d'amélioration génétique et de règles pour le transfert des semences en se basant sur la classification écologique du territoire.

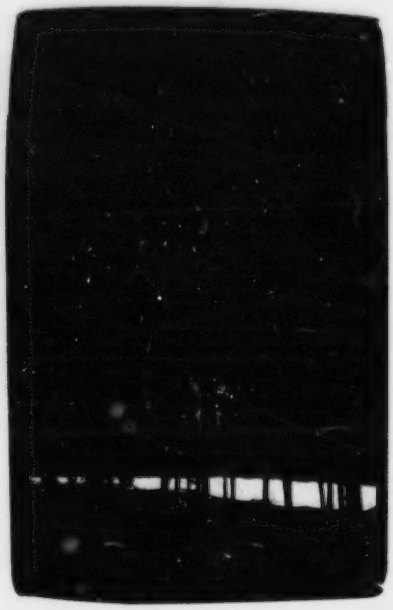
À long terme, l'objectif des programmes de recherche sur les essais de provenances est de poursuivre l'évaluation du matériel testé. Les évaluations mettront l'accent sur la qualité des tiges et les dommages causés par les ravageurs et le climat, ainsi que sur la croissance. Les informations et l'expérience accumulées seront utilisées par les généticiens pour poursuivre les travaux d'amélioration et par les forestiers pour améliorer les pratiques sylvicoles dans les plantations. Ce réseau d'essais de provenances est également précieux pour la recherche interdisciplinaire dans



Grâce à des essais de provenances, des sources de semences d'épinette blanche et d'épinette de Norvège très productives ont été identifiées. Par exemple, des semences d'épinette blanche du sud de l'Ontario ont montré une croissance en hauteur supérieure de 20 % à celle des semences locales sur une période de 20 ans. Cette supériorité en hauteur s'est traduite à 25 ans en un volume de 30 à 50 % supérieur selon les sites. Pour l'épinette de Norvège, 16 ans après la plantation, les essais ont permis d'identifier des sources offrant une supériorité en hauteur de 10 % par rapport à un ensemble de sources testées, y compris quelques plantations du Québec.

Test de provenances-descendances de chêne rouge, 5 ans après plantation.

des domaines comme l'évaluation de la productivité des sites, l'étude de l'écologie des plantations et la détermination de l'impact de la sylviculture intensive sur la densité du bois.



Sélection d'arbres-plus dans un peuplement de pin gris.

Depuis les années 80, plusieurs essais mis en place ont été combinés avec les travaux de recherche sur les descendances pour constituer des tests de provenances-descendances. Dans ces essais, un certain nombre de descendances sont utilisées pour représenter une provenance. Par cette technique, on maximise les résultats qui peuvent être tirés d'un dispositif expérimental unique.

TESTAGE

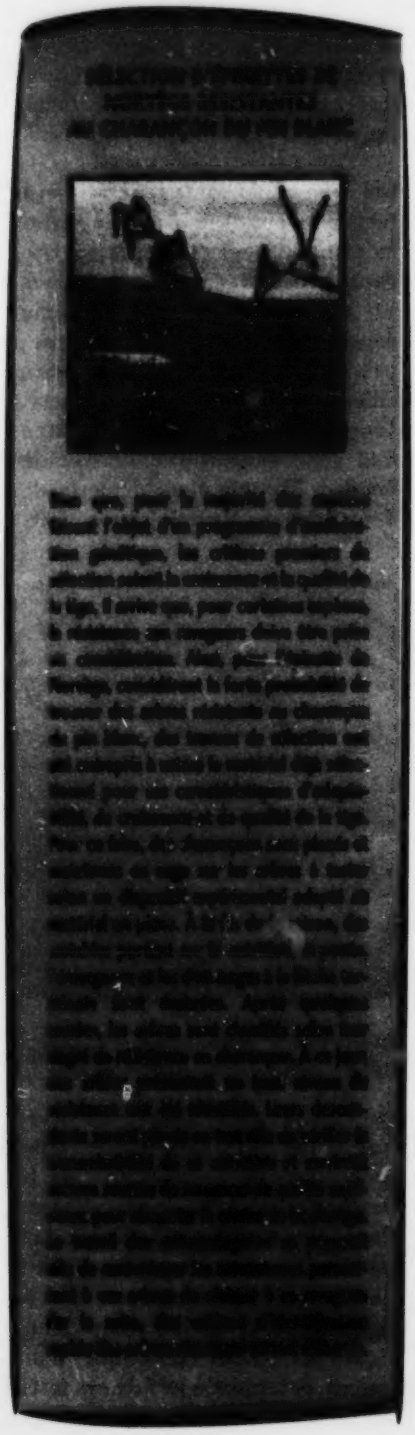
Les sélections d'arbres-plus sont basées sur le phénotype, c'est-à-dire sur les caractéristiques physiques des arbres. Cependant, la valeur génétique des arbres sélectionnés, soit leur capacité de transmettre les caractères désirables à leurs descendants, demeure inconnue à ce stade. Les tests de descendances constituent la meilleure méthode pour établir la valeur génétique des arbres sélectionnés et déterminer quelle proportion de la variation observable d'un caractère particulier est attribuable aux gènes.

Les tests de descendances consistent en des plantations comparatives comprenant les descendants de nombreux arbres-plus ou d'arbres échantillonnés dont on veut connaître la valeur génétique. Des plants issus de lots de semences destinés au reboisement opérationnel peuvent être utilisés dans ces plantations à titre de témoins. Ces tests sont répétés à divers endroits représentatifs des conditions environnementales existant dans les sites de reboisement opérationnel. La sélection et la préparation des sites de ces tests doivent être menées avec soin si on veut obtenir des résultats valides et non biaisés. Les plantations sont soigneusement aménagées afin de minimiser la compétition avec la végétation concurrente et sont protégées de façon à y réduire les dommages et la mortalité.

Les semences sont généralement recueillies sur chaque arbre-plus au moment de la sélection. Les descendants issus des semences recueillies sur un arbre donné ont la même mère, mais, comme le pollen provenait probablement de diverses sources, l'identité des pères est inconnue. Les premiers essais génétiques se font généralement avec ce type de famille; il s'agit alors de tests de descendances à pollinisation libre.

Test de descendances de pin gris.

On mesure la croissance et le développement des familles et on classe les arbres-plus en fonction de la performance de leurs descendants dans l'ensemble des sites. Les parents qui produisent les meilleurs descendants sont conservés dans le programme d'amélioration génétique. La valeur génétique d'un parent, déterminée lors de ces tests, est désignée sous le nom d'aptitude générale à la combinaison, soit la capacité d'un parent de se croiser avec d'autres parents quelconques



ESSAIS DE PROVENANCES

TESTS DE DESCENDANCES

pour produire des descendants de qualité supérieure.

L'information obtenue des tests de descendances à pollinisation libre peut servir à éliminer les parents de mauvaise qualité des vergers à graines en place, à établir de nouveaux vergers regroupant les meilleurs parents et à sélectionner les parents montrant la plus grande aptitude générale à la combinaison en vue de croisements subséquents.

Afin de maintenir la généalogie du matériel sur un certain nombre de générations dans le cadre d'un programme d'amélioration donné, les arbres sélectionnés pour produire la deuxième génération d'arbres génétiquement améliorés sont croisés de manière contrôlée. Les semences ainsi obtenues sont utilisées pour produire des fratries (descendants dont les deux parents sont connus), lesquelles feront l'objet de tests. Encore une

TESTS CLONAUX

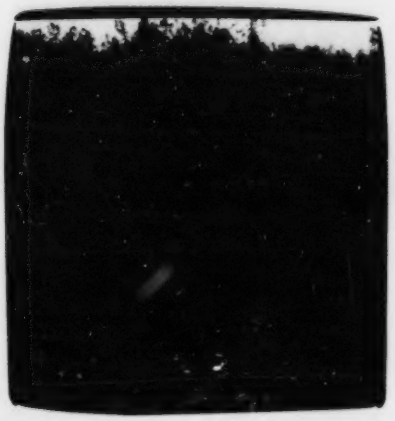
Espèce	Nombre de clones	Nombre de tests	Année d'établissement
Mélèze d'Europe	58	3	1988
Mélèze du Japon	139	1	1996
Épinette noire	900	21	1993+
Épinette blanche	700	7	1997+
Épinette de Norvège	200	2	1995
Peuplier	env. 4 000	140	1969+
			31 août 1999

fois, les tests sont répétés dans divers environnements, et, selon les mesures recueillies dans l'ensemble des sites, les meilleurs arbres des meilleures fratries sont sélectionnés pour établir des vergers à graines clonaux de seconde génération. Les tests de fratries fournissent des informations sur l'aptitude générale à la combinaison ainsi que sur l'aptitude spécifique à la combinaison, soit la capacité d'un parent de produire des descendants supérieurs par croisement avec un parent particulier plutôt qu'avec des parents quelconques.

RECHERCHE - TESTAGE

TEST EN CHAMP

Les tests de descendances sont souvent coûteux à établir et à entretenir, et comprennent généralement l'examen de chaque famille dans divers sites, ce qui engendre des données qui coûtent cher à obtenir et à analyser. On mène actuellement des études visant à déterminer si on peut évaluer avec précision la performance des descendances en un site unique bien préparé et relativement homogène. Les descendances déjà établies dans les tests de descendances classiques sont dupliquées dans des tests en champ dans lesquels les arbres sont très rapprochés. Les corrélations entre la performance des descendances évaluées dans les tests en champ et celle des mêmes descendances évaluées dans les tests classiques indiqueront la valeur de ce nouveau type de test de descendances. Si ces tests donnent de bons résultats, ils devraient permettre une évaluation plus rapide et plus précise des descendances à moindre coût.

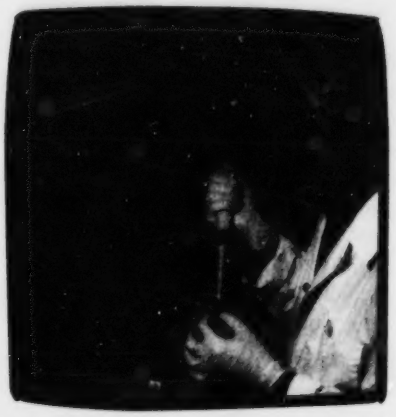


Test en champ installé à la pépinière de Saint-Modeste près de Rivière-du-Loup, dans lequel se trouvent des épinettes noires de quatre ans. On y mène actuellement des études visant à déterminer si on peut évaluer avec précision la performance des descendances sur un site unique bien préparé et relativement homogène.

ÉTUDE DES GÈNES

L'étude des gènes permet de tracer les empreintes génétiques des arbres puis de caractériser la diversité génétique présente à l'intérieur d'une population et entre les populations d'une espèce donnée. Jusqu'à maintenant, cette technique a permis, entre autres, d'étudier la variation géographique d'origine génétique chez plusieurs espèces, de formuler des recommandations sur l'échantillonnage en vue de la conservation des ressources génétiques, de vérifier des croisements, de certifier des hybrides d'épinette rouge et d'épinette noire et de faire le suivi de la stabilité génétique en culture *in vitro*. Cette technique est également utilisée pour étudier les variations génétiques présentes chez d'autres organismes, comme les champignons causant la rouille vésiculeuse du pin blanc et le chancre scléroderrien du pin.

Des recherches sont également en cours pour mieux comprendre l'organisation des gènes à l'intérieur d'une même espèce. Leur but est



Étude génétique en laboratoire.

SÉLECTION D'ÉPINETTES DE NORVÈGE RÉSISTANTES AU CHARANÇON DU PIN BLANC

Bien que, pour la majorité des espèces faisant l'objet d'un programme d'amélioration génétique, les critères premiers de sélection soient la croissance et la qualité de la tige, il arrive que, pour certaines espèces, la résistance aux ravageurs doive être prise en considération. Ainsi, pour l'épinette de Norvège, considérant la forte probabilité de trouver des arbres résistants au charançon du pin blanc, des travaux de sélection ont été entrepris à même le matériel déjà sélectionné pour ses caractéristiques d'adaptabilité, de croissance et de qualité de la tige. Pour ce faire, des charançons sont placés et maintenus en cage sur les arbres à tester selon un dispositif expérimental adapté au matériel en place. À la fin de la saison, des variables portant sur la nutrition, la ponte, l'émergence et les dommages à la flèche terminale sont évaluées. Après quelques années, les arbres sont classifiés selon leur degré de résistance au charançon. À ce jour, des arbres présentant un haut niveau de résistance ont été identifiés. Leurs descendants seront placés en test afin de vérifier la transmissibilité de ce caractère et serviront comme sources de semences de qualité supérieure pour alimenter le centre de bouturage. Le travail des entomologistes se poursuit afin de caractériser les mécanismes permettant à ces arbres de résister à ce ravageur. Par la suite, des critères d'identification rapide des arbres résistants seront élaborés.

ESSAIS DE PROVENANCES

Espèce	Nombre de provenances	Nombre d'essais	Année d'établissement
Pin gris	88	3	1966
Pin sylvestre	76	12	1983
Pin tordu	134	11	1980-1981
Mélèze	117	25	1973+
Épinette de Norvège	85	39	1969+
Douglas	81	32	1971+
Épinette noire	130	29	1969+
Épinette rouge	18	19	1959+
Épinette blanche	97	4	1972+
Peuplier	82	14	1976+
Frêne	150	7	1972+
Chêne rouge	17	4	1990+
Autres feuillus	48	4	1981+

26 août 1999

TESTS DE DESCENDANCES

Espèce	Nombre d'arbres sélectionnés (arbres-plus)	Nombre d'arbres-plus testés	Nombre de tests	Superficie (ha)	Nombre total d'arbres en test	Éclaircie génétique	Sélection 2e génération année
Pin gris	4 712	4 330	26	214	401 000	1989+	1991+
Mélèze	1 350	1 100	38	110	114 000	1994+	
Épinette de Norvège	435	200	25	100	120 000	1990+	
Épinette noire	env. 9 000	8 384	74	304	639 600	1990+	1996+
Épinette blanche	4 214	1 609	36	60	135 000		
Pin blanc	400	90	8	50	56 000		
Peuplier	env. 8 000	env. [illegible] 000	27	23	130 000		
Bouleau	154	110	3	4	6 247		
Frêne	210	210	2	4	13 586		
Chêne rouge	165	165	9	10	17 703		
Autres feuillus	108	108	7	6	6 953		

26 août 1999

pour produire des descendants de qualité supérieure.

L'information obtenue des tests de descendances à pollinisation libre peut servir à éliminer les parents de mauvaise qualité des vergers à graines en place, à établir de nouveaux vergers regroupant les meilleurs parents et à sélectionner les parents montrant la plus grande aptitude générale à la combinaison en vue de croisements subséquents.

Afin de maintenir la généalogie du matériel sur un certain nombre de générations dans le cadre d'un programme d'amélioration donné, les arbres sélectionnés pour produire la deuxième génération d'arbres génétiquement améliorés sont croisés de manière contrôlée. Les semences ainsi obtenues sont utilisées pour produire des fratries (descendants dont les deux parents sont connus), lesquelles feront l'objet de tests. Encore une

TESTS CLONAUX

Espèce	Nombre de clones	Nombre de tests	Année d'établissement
Mélèze d'Europe	58	3	1988
Mélèze du Japon	139	1	1996
Épinette noire	900	21	1993+
Épinette blanche	700	7	1997+
Épinette de Norvège	200	2	1995
Peuplier	env. 4 000	140	1969+

26 août 1999

fois, les tests sont répétés dans divers environnements, et, selon les mesures recueillies dans l'ensemble des sites, les meilleurs arbres des meilleures fratries sont sélectionnés pour établir des vergers à graines clonaux de seconde génération. Les tests de fratries fournissent des informations sur l'aptitude générale à la combinaison ainsi que sur l'aptitude spécifique à la combinaison, soit la capacité d'un parent de produire des descendants supérieurs par croisement avec un parent particulier plutôt qu'avec des parents quelconques.

RECHERCHE - TESTAGE

TEST EN CHAMP

es tests de descendances sont souvent coûteux à établir et à entretenir, et comprennent généralement l'examen de chaque famille dans divers sites, ce qui engendre des données qui coûtent cher à obtenir et à analyser. On mène actuellement des études visant à déterminer si on peut évaluer avec précision la performance des descendances en un site unique bien préparé et relativement homogène. Les descendances déjà établies dans les tests de descendances classiques sont dupliquées dans des tests en champ dans lesquels les arbres sont très rapprochés. Les corrélations entre la performance des descendances évaluées dans les tests en champ et celle des mêmes descendances évaluées dans les tests classiques indiqueront la valeur de ce nouveau type de test de descendances. Si ces tests donnent de bons résultats, ils devraient permettre une évaluation plus rapide et plus précise des descendances à moindre coût.

Test en champ installé à la pépinière de Saint-Modeste près de Rivière-du-Loup, dans lequel se trouvent des épinettes noires de quatre ans. On y mène actuellement des études visant à déterminer si on peut évaluer avec précision la performance des descendances sur un site unique bien préparé et relativement homogène.

ÉTUDE DES GÈNES

'étude des gènes permet de tracer les empreintes génétiques des arbres puis de caractériser la diversité génétique présente à l'intérieur d'une population et entre les populations d'une espèce donnée. Jusqu'à maintenant, cette technique a permis, entre autres, d'étudier la variation géographique d'origine génétique chez plusieurs espèces, de formuler des recommandations sur l'échantillonnage en vue de la conservation des ressources génétiques, de vérifier des croisements, de certifier des hybrides d'épinette rouge et d'épinette noire et de faire le suivi de la stabilité génétique en culture *in vitro*. Cette technique est également utilisée pour étudier les variations génétiques présentes chez d'autres organismes, comme les champignons causant la rouille vésiculeuse du pin blanc et le chancre scléroderrien du pin.

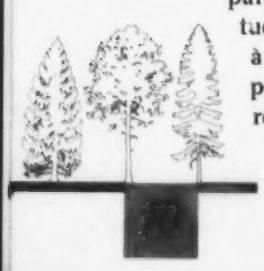
Des recherches sont également en cours pour mieux comprendre l'organisation des gènes à l'intérieur d'une même espèce. Leur but est

Étude génétique en laboratoire

d'arriver à localiser (cartographie génétique) des gènes d'intérêt économique ou importants sur le plan adaptatif en vue d'en faire la sélection assistée. On pourra éventuellement sélectionner des individus présentant des caractéristiques désirables sur la base de leurs empreintes génétiques. Ainsi, on n'aura plus à effectuer des tests à très long terme pour permettre l'identification d'arbres présentant les caractéristiques souhaitées. Des travaux en cours de réalisation portent sur l'identification de marqueurs génétiques permettant de sélectionner rapidement les gènes supérieurs associés à la qualité du bois chez l'épinette blanche et à la teneur en sucre de la sève chez l'érable à sucre.

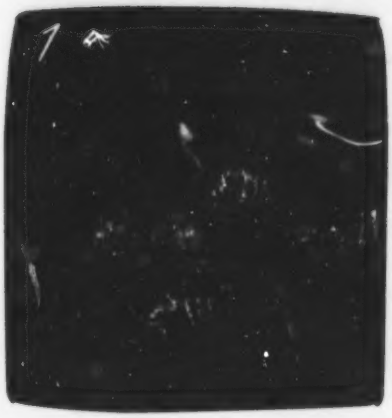
CROISEMENTS

Deux éléments sont extrêmement importants pour la réussite d'un programme d'amélioration d'une espèce donnée: une stratégie d'amélioration adaptée et une planification appropriée des croisements. Essentiellement, le plan de croisements établit quels parents mâles et femelles serviront à chacun des nombreux croisements soigneusement planifiés. Les arbres parentaux, issus de greffage ou de bouturage, qui seront utilisés comme mâles et femelles, représentent les arbres-plus sélectionnés en peuplements naturels ou, idéalement, les arbres d'élite sélectionnés dans des tests de descendances. Bien que les arbres parentaux soient habituellement croisés deux à deux, certains facteurs peuvent nécessiter la réalisation de croisements dirigés utilisant un mélange de pollen provenant de plusieurs arbres.



Chaque plan de croisements vise un but précis et engendre lors de sa réalisation, par les semences produites, du matériel nouveau et, conséquemment, de nouvelles informations sur la génétique de l'espèce. Le plan de croisements choisi sera fonction des connaissances acquises sur la structure génétique de l'espèce visée et du contrôle génétique exercé sur chaque caractère à améliorer.

CROISEMENT PAR POLLINISATION DIRIGÉE
QUATRE ÉTAPES CLÉS

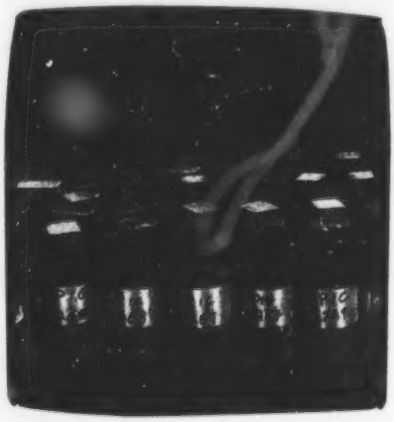


Le pollen est récolté à partir des cônes mâles sur les arbres sélectionnés.

Juste avant qu'ils ne soient réceptifs, on isole les cônes femelles en les entourant d'un sac de pollinisation. Pour éviter l'autopollinisation, les cônes mâles sont éliminés des branches comprises dans le sac.

Le pollen du parent mâle sélectionné est appliqué à l'intérieur du sac, sur les cônes femelles réceptifs, à l'aide d'un pinceau ou d'une aiguille hypodermique.

À la fin de l'été, les cônes femelles ont atteint leur maturité et sont prêts à être récoltés.



Le pollen peut se conserver plusieurs années. Le ministère des Ressources naturelles gère une banque de pollen pour de nombreuses espèces d'arbres.

Habituellement, le plan choisi doit établir un équilibre entre le désir de produire le plus grand nombre possible de familles pour la sélection future et la réalisation de bonnes estimations des paramètres génétiques pour orienter les travaux à venir.

Les croisements ne peuvent être réalisés avant que les arbres parentaux présents dans les vergers à graines ou les parcs à clones n'aient commencé à produire du pollen et des fleurs femelles en quantités suffisantes. Des techniques de stimulation de la floraison peuvent permettre le croisement d'arbres parentaux qui produisent peu de fleurs. Les croisements sont effectués par pollinisation dirigée, étape très importante des programmes d'amélioration.

Plantation d'arbres génétiquement améliorés.

RECHERCHE - CROISEMENTS

CYCLE DE REPRODUCTION DES CONIFÈRES

La connaissance approfondie du cycle reproducteur de chaque espèce est nécessaire pour assurer l'efficacité des programmes d'amélioration des arbres et de production de semences dans les vergers à graines. Des recherches menées au Québec et ailleurs et portant sur la biologie du développement et de la reproduction des conifères ont permis de mieux connaître les cycles reproducteurs de nos principales espèces commerciales. Ces études ont couvert divers aspects : descriptions du développement des bourgeons végétatifs et des pousses en rapport avec le début de la formation des cônes, moment et modalités de la formation initiale des cônes, développement des bourgeons floraux, développement du pollen, pollinisation et développement de l'embryon et des graines.

Pour démontrer l'importance de l'étude du cycle reproducteur des conifères, il est intéressant de comparer, par exemple, les épinettes et le pin blanc. Ainsi, chez les épinettes, les bourgeons floraux (mâles et femelles) sont différenciés l'été précédant la saison de fructification alors que, chez le pin blanc, ce sont seulement les bourgeons mâles qui le sont, tandis que les bourgeons femelles sont différenciés lors de la saison de fructification. Ainsi, chez le pin blanc, il peut arriver qu'il y ait une forte production de pollen une année, mais peu de cônes femelles si les conditions de formation des cônes femelles n'ont pas été favorables en début de saison.

Les résultats de ces recherches et ceux qui sont encore à venir sont essentiels au succès des travaux de croisements dirigés et fournissent des lignes directrices pour les études et les traitements concernant la stimulation de la production de cônes. Ils permettent de prédire la production du pollen et des graines, aident à obtenir une pollinisation plus efficace et améliorent notre connaissance des causes associées à de faibles productions de semences. Ils permettent également de mettre au point des techniques de stimulation de la floraison et de la production de semences.

Cônes femelles de mélèze d'Europe.

GESTION DU POLLEN

La recherche sur le pollen est intimement liée au processus d'amélioration génétique des arbres. Les premières tentatives d'entreposage de pollen qui doit servir à la réalisation de croisements ont souvent échoué en raison de mauvaises techniques d'extraction et de piètres conditions de conservation. C'est pourquoi la gestion du pollen, qui comprend des méthodes de récolte, d'extraction, d'entreposage et de test de viabilité, est devenue un important domaine de recherche. Au cours des dernières années, des progrès importants ont été accomplis chez les conifères. Ils ont permis d'établir une méthode de traitement et de conservation qui assure la viabilité du pollen pour une période de cinq ans sans altération. Ainsi, on peut maintenant disposer, en tout temps, de lots de pollen de qualité et par conséquent obtenir une bonne production de semences lors des travaux de croisements.

M121

IMPORTANT NOTE CONCERNING THE FOLLOWING PAGES

THE PAGES WHICH FOLLOW HAVE BEEN FILMED TWICE IN ORDER TO OBTAIN THE BEST REPRODUCTIVE QUALITY

USERS SHOULD CONSULT ALL THE PAGES REPRODUCED ON THE FICHE IN ORDER TO OBTAIN A COMPLETE READING OF THE TEXT.

REMARQUE IMPORTANTE CONCERNANT LES PAGES QUI SUIVENT

LES PAGES SUIVANTES ONT ÉTÉ REPRODUITES EN DOUBLE AFIN D'AMÉLIORER LA QUALITÉ DE REPRODUCTION

LES UTILISATEURS DOIVENT CONSULTER TOUTES LES PAGES REPRODUITES SUR LA FICHE AFIN D'OBTENIR LA LECTURE DU TEXTE INTÉGRAL

micromedia
a division of IHS Canada

20 Victoria Street
Toronto, Ontario M5C 2N8
Tel.: (416) 362-5211
Toll Free: 1-800-387-2689
Fax: (416) 362-6161
Email: info@micromedia.on.ca

Pour les prochaines années, les travaux de recherche sur le pollen porteront principalement sur le mélèze et le peuplier, qui présentent des différences importantes par rapport aux espèces déjà étudiées.

HYBRIDATION ENTRE ESPÈCES

L'hybridation interspécifique, c'est-à-dire le croisement entre deux espèces, constitue un outil précieux pour certains programmes d'amélioration génétique. Au Québec, les programmes sur les mélèzes et les peupliers utilisent avantageusement cette technique. En effet, il est reconnu que, dans le Québec méridional, le mélèze hybride issu d'un croisement entre le mélèze d'Europe et le mélèze du Japon croît mieux que l'un ou l'autre des parents et dépasse largement notre mélèze indigène, le mélèze laricin. Chez les peupliers, les clones les plus performants proviennent également d'hybrides et, dans certains cas, d'hybrides de plus de deux espèces obtenus par croisements successifs.

Toutefois, la production de mélèze hybride en vue du testage et de la sélection et, éventuellement, de la production à grande échelle, nécessite des efforts de recherche soutenus puisque cette technique exige une connaissance approfondie des cycles de reproduction des espèces visées. De plus, de nombreux obstacles, comme la conservation et l'évaluation de la viabilité du pollen, le manque de synchronisme dans la floraison des deux espèces et une faible production de graines viables, seront des aspects qui feront l'objet de recherches au cours des prochaines années.

PRODUCTION DE MATÉRIEL AMÉLIORÉ

Les sources de semences génétiquement améliorées constituent le lien entre le programme d'amélioration génétique et le programme de reboisement. Le gain génétique obtenu, résultat de plusieurs années de sélection, de testage et de croisements, est livré sur le terrain grâce aux semences produites par les vergers à graines ou par le bouturage.

À la suite de l'expansion rapide des programmes de reboisement vers la fin des années 70, un important réseau de vergers à graines a été mis en place pour les espèces résineuses commerciales les plus utilisées dans le reboisement au Québec. Les objectifs étaient d'améliorer génétiquement le rendement des plantations et la qualité des arbres et, en second lieu, de régulariser l'approvisionnement en semences.

Les semences améliorées proviennent principalement des vergers à graines et des essais de provenances (plantations comparatives) et, dans une moindre mesure, de quelques tests de descendances et parcs à clones. Au total, 160 sources de semences améliorées sont réparties dans l'ensemble du territoire forestier québécois.

VERGERS À GRAINES DE PREMIÈRE GÉNÉRATION

Le verger à graines est une plantation de clones ou de semis provenant d'arbres sélectionnés; cette plantation est isolée afin de prévenir la

SOURCES DE SEMENCES

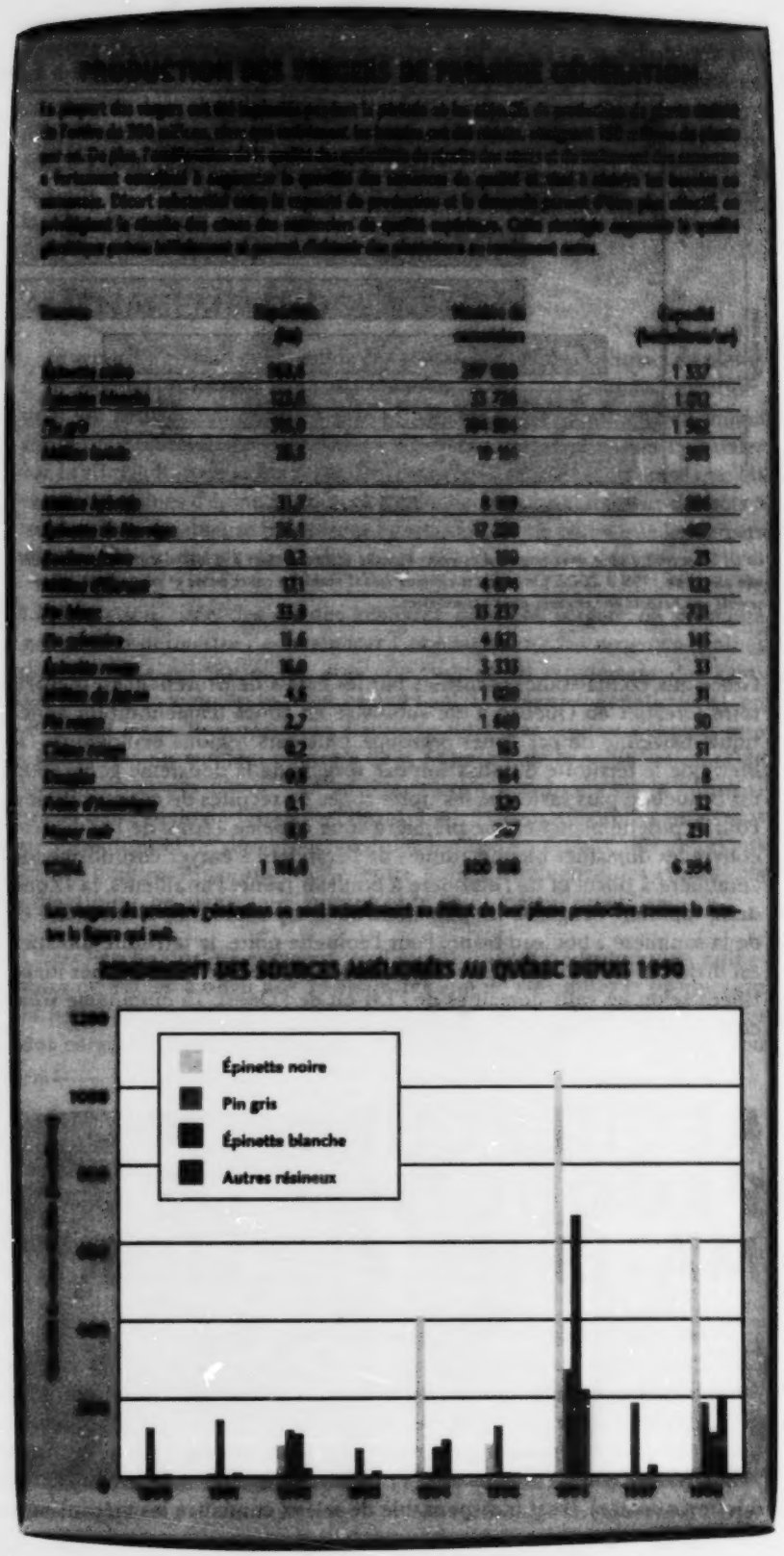
Essence	Vergers à graines	Essais de provenances	Tests de descendances	Parcs à clones	Total
Bouleau jaune	1				1
Chêne rouge	2				2
Épinette blanche	21	2		2	25
Épinette de Norvège	5	4		1	10
Épinette noire	23		14		37
Épinette rouge	3				3
Frêne d'Amérique	1				1
Mélèze d'Europe	3	8			11
Mélèze du Japon	1	2			3
Mélèze hybride	7	13			20
Mélèze laricin	4	6	1		11
Noyer noir	2				2
Pin blanc	6			1	7
Pin gris	12		6		18
Pin rouge	1				1
Pin sylvestre	1	6			7
Douglas	1				1
TOTAL	94	41	21	4	160

pollinisation par des individus non désirables et aménagée en vue d'une production rapide et abondante de semences améliorées destinées au reboisement. Les vergers à graines sont souvent établis avant que la qualité génétique des semenciers n'ait été évaluée par des tests de descendances. Une fois les résultats des tests connus, les individus de qualité inférieure sont retirés des vergers (éclaircie génétique).

Il existe deux types de vergers à graines au Québec: le verger de semis et le verger clonal. Le verger de semis est choisi pour les essences fleurissant rapidement, c'est-à-dire entre l'âge de cinq et 15 ans, comme l'épinette noire, le pin gris et le mélèze laricin. Après l'éclaircie génétique, les gains obtenus en hauteur dans nos vergers de ce type sont de l'ordre de trois à huit pour cent. Le verger clonal, quant à lui, est retenu pour les essences qui fleurissent plus tardivement, vers l'âge de 15 à 25 ans, comme l'épinette blanche, l'épinette de Norvège et le pin blanc. Le matériel clonal est généralement obtenu par greffage, ce qui permet de réduire le délai de floraison à cinq ou dix ans. Le gain génétique anticipé est de l'ordre de cinq à dix pour cent en hauteur.

AUTRES SOURCES DE SEMENCES AMÉLIORÉES

Au fil des ans, les besoins en plants améliorés ont considérablement évolué. Depuis l'implantation des premiers vergers à graines, la demande pour une espèce donnée a parfois augmenté ou diminué. Parfois aussi, de nouvelles espèces sont incluses dans les programmes de reboisement. Une fois l'information génétique obtenue,



Pour les prochaines années, les travaux de recherche sur le pollen porteront principalement sur le mélèze et le peuplier, qui présentent des différences importantes par rapport aux espèces déjà étudiées.

HYBRIDATION ENTRE ESPÈCES

L'hybridation interspécifique, c'est-à-dire le croisement entre deux espèces, constitue un outil précieux pour certains programmes d'amélioration génétique. Au Québec, les programmes sur les mélèzes et les peupliers utilisent avantageusement cette technique. En effet, il est reconnu que, dans le Québec méridional, le mélèze hybride issu d'un croisement entre le mélèze d'Europe et le mélèze du Japon croît mieux que l'un ou l'autre des parents et dépasse largement notre mélèze indigène, le mélèze laricin. Chez les peupliers, les clones les plus performants proviennent également d'hybrides et, dans certains cas, d'hybrides de plus de deux espèces obtenus par croisements successifs.

Toutefois, la production de mélèze hybride en vue du testage et de la sélection et, éventuellement, de la production à grande échelle, nécessite des efforts de recherche soutenus puisque cette technique exige une connaissance approfondie des cycles de reproduction des espèces visées. De plus, de nombreux obstacles, comme la conservation et l'évaluation de la viabilité du pollen, le manque de synchronisme dans la floraison des deux espèces et une faible production de graines viables, seront des aspects qui feront l'objet de recherches au cours des prochaines années.

PRODUCTION DE MATÉRIEL AMÉLIORÉ

Les sources de semences génétiquement améliorées constituent le lien entre le programme d'amélioration génétique et le programme de reboisement. Le gain génétique obtenu, résultat de plusieurs années de sélection, de testage et de croisements, est livré sur le terrain grâce aux semences produites par les vergers à graines ou par le bouturage.

À la suite de l'expansion rapide des programmes de reboisement vers la fin des années 70, un important réseau de vergers à graines a été mis en place pour les espèces résineuses commerciales les plus utilisées dans le reboisement au Québec. Les objectifs étaient d'améliorer génétiquement le rendement des plantations et la qualité des arbres et, en second lieu, de régulariser l'approvisionnement en semences.

Les semences améliorées proviennent principalement des vergers à graines et des essais de provenances (plantations comparatives) et, dans une moindre mesure, de quelques tests de descendances et parcs à clones. Au total, 160 sources de semences améliorées sont réparties dans l'ensemble du territoire forestier québécois.

VERGERS À GRAINES DE PREMIÈRE GÉNÉRATION

Le verger à graines est une plantation de clones ou de semis provenant d'arbres sélectionnés; cette plantation est isolée afin de prévenir la

SOURCES DE SEMENCES

Essence	Vergers à graines	Essais de provenances	Tests de descendances	Parcs à clones	Total
Bouleau jaune	1				1
Chêne rouge	2				2
Épinette blanche	21	2		2	25
Épinette de Norvège	5	4		1	10
Épinette noire	23		14		37
Épinette rouge	3				3
Frêne d'Amérique	1				1
Mélèze d'Europe	3	8			11
Mélèze du Japon	1	2			3
Mélèze hybride	7	13			20
Mélèze laricin	4	6	1		11
Noyer noir	2				2
Pin blanc	6			1	7
Pin gris	12		6		18
Pin rouge	1				1
Pin sylvestre	1	6			7
Douglas	1				1
TOTAL	94	41	21	4	160

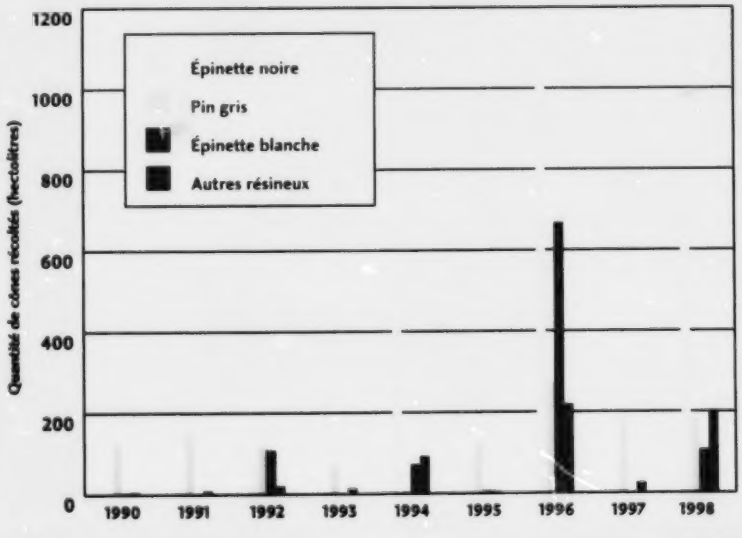
PRODUCTION DES VERGERS DE PREMIÈRE GÉNÉRATION

La plupart des vergers ont été implantés pendant la période où les objectifs de production de plants étaient de l'ordre de 300 millions, alors que maintenant les besoins ont été réduits, atteignant 150 millions de plants par an. De plus, l'amélioration de la qualité des opérations de récolte des cônes et du traitement des semences a fortement contribué à augmenter la quantité des semences de qualité et ainsi à réduire les besoins en semences. L'écart substantiel entre la capacité de production et la demande permet d'être plus sélectif, en privilégiant la récolte des cônes des semenciers de qualité supérieure. Cette stratégie augmente la qualité génétique prévue initialement et permet d'obtenir des plantations au rendement accru.

Essence	Superficie (ha)	Nombre de semenciers	Capacité (hectolitres/an)
Épinette noire	568,6	297 020	1 337
Épinette blanche	123,6	33 728	1 012
Pin gris	315,0	104 554	1 562
Mélèze laricin	26,5	10 114	303
Mélèze hybride	31,7	8 159	266
Épinette de Norvège	35,1	17 220	467
Bouleau jaune	0,2	150	23
Mélèze d'Europe	17,1	4 074	122
Pin blanc	33,8	13 237	721
Pin sylvestre	11,6	4 821	145
Épinette rouge	16,0	3 335	33
Mélèze du Japon	4,6	1 020	31
Pin rouge	2,7	1 660	50
Chêne rouge	0,2	165	51
Douglas	0,6	164	8
Frêne d'Amérique	0,1	320	32
Noyer noir	0,6	367	231
TOTAL	1 118,0	500 108	6 394

Les vergers de première génération en sont actuellement au début de leur phase productive comme le montre la figure qui suit.

RENDEMENT DES SOURCES AMÉLIORÉES AU QUÉBEC DEPUIS 1990



pollinisation par des individus non désirables et aménagée en vue d'une production rapide et abondante de semences améliorées destinées au reboisement. Les vergers à graines sont souvent établis avant que la qualité génétique des semenciers n'ait été évaluée par des tests de descendances. Une fois les résultats des tests connus, les individus de qualité inférieure sont retirés des vergers (éclaircie génétique).

Il existe deux types de vergers à graines au Québec : le verger de semis et le verger clonal. Le verger de semis est choisi pour les essences fleurissant rapidement, c'est-à-dire entre l'âge de cinq et 15 ans, comme l'épinette noire, le pin gris et le mélèze laricin. Après l'éclaircie génétique, les gains obtenus en hauteur dans nos vergers de ce type sont de l'ordre de trois à huit pour cent. Le verger clonal, quant à lui, est retenu pour les essences qui fleurissent plus tardivement, vers l'âge de 15 à 25 ans, comme l'épinette blanche, l'épinette de Norvège et le pin blanc. Le matériel clonal est généralement obtenu par greffage, ce qui permet de réduire le délai de floraison à cinq ou dix ans. Le gain génétique anticipé est de l'ordre de cinq à dix pour cent en hauteur.

AUTRES SOURCES DE SEMENCES AMÉLIORÉES

Au fil des ans, les besoins en plants améliorés ont considérablement évolué. Depuis l'implantation des premiers vergers à graines, la demande pour une espèce donnée a parfois augmenté ou diminué. Parfois aussi, de nouvelles espèces sont incluses dans les programmes de reboisement. Une fois l'information génétique obtenue,

des essais de provenances peuvent être recyclés en une source de semences améliorées, comme dans le cas des mélèzes. De même, les tests de descendances, après qu'on y ait pratiqué une éclaircie génétique, peuvent être utilisés pour combler des besoins supplémentaires. Ainsi, cinq tests d'épinette noire et six tests de pin gris furent éclaircis pour répondre à des besoins croissants dans des régions où les vergers sont insuffisants.

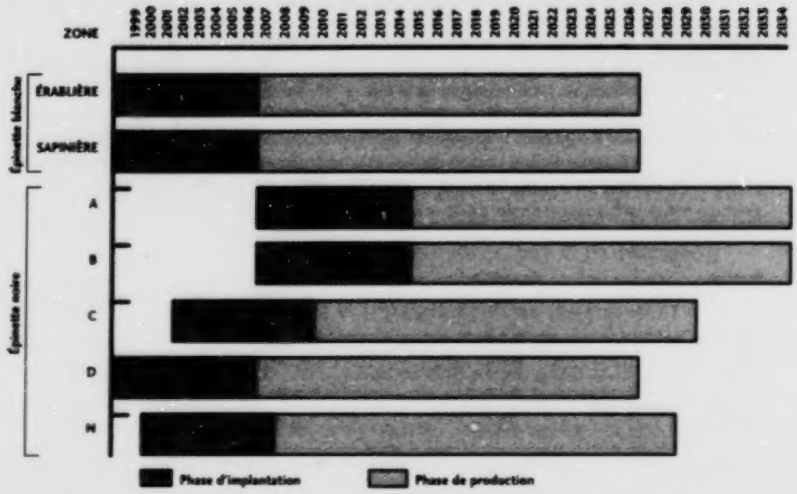
VERGERS À GRAINES DE DEUXIÈME GÉNÉRATION

Des travaux d'amélioration génétique portant sur les vergers à graines de deuxième génération ont été entrepris à la fin des années 80. Il s'agit d'une suite logique au cycle de la première génération.

Pour l'épinette noire, la population de deuxième génération est formée des meilleurs individus sélectionnés dans les tests de descendances de la première génération et d'un essai de provenances. Les arbres d'élite sont reproduits par bouturage.

En ce qui concerne l'épinette blanche, les essais de provenances établis au cours des années 70 et 80 par le Service canadien des forêts constituent le matériel de base pour les vergers de deuxième génération. Une sélection de cinq génotypes de chacune des 25 meilleures familles a été réalisée dans les essais localisés dans les domaines de l'érablière et de la sapinière. Cette sélection représente un total de 250 génotypes de qualité génétique supérieure qui ont été greffés. On espère des gains génétiques de 12 % en volume de ces vergers clonaux.

CALENDRIER D'IMPLANTATION



La DPSP prévoit établir deux vergers d'épinette blanche et cinq vergers d'épinette noire durant la période allant de 1999 à 2007. Cinq vergers clonaux seront établis à court terme et répondront à l'ensemble des besoins en semences pour ces essences.

Grâce aux connaissances fournies par les essais de provenances, le territoire forestier du Québec a été subdivisé en zones d'amélioration génétique. Chacune de ces zones regroupe plusieurs régions écologiques, si bien que le territoire d'utilisation des vergers de la deuxième génération est beaucoup plus vaste que les treize zones de récoltes de cônes initiales. Pour l'épinette blanche, une première zone appelée «Zone de l'érablière» couvre les domaines bioclimatiques de l'érablière à caryer cordiforme, de l'érablière à tilleul et de l'érablière à bouleau jaune. Par ailleurs, la «Zone de la sapinière» englobe les domaines de la sapinière à bouleau jaune et de la sapinière à bouleau blanc. Pour l'épinette noire, le territoire forestier est divisé en cinq zones. Le sud du Québec est divisé en quatre zones identifiées selon les sous-domaines de l'Est ou de l'Ouest. La cinquième zone comprend le domaine de la pessière à mousses.

RECHERCHE – PRODUCTION DE MATÉRIEL AMÉLIORÉ

Pour être utilisables dans un programme de reboisement, les travaux de sélection du matériel génétiquement amélioré doivent être accompagnés de moyens (comme le bouturage) permettant de reproduire à grande échelle les arbres ainsi obtenus. Des programmes de recherche ont donc été élaborés pour appuyer les efforts de production de graines améliorées (reproduction sexuée) et de multiplication végétative (reproduction asexuée). Il est indispensable de mieux connaître les mécanismes

naturels de reproduction et de mettre au point des techniques permettant d'imiter certains mécanismes de manière artificielle, en vue d'obtenir des plants génétiquement améliorés destinés au reboisement. Pour être efficaces, ces travaux de recherche doivent être intimement liés aux opérations, tant dans l'aménagement des vergers à graines que dans le traitement des graines et le bouturage des plants. Des recherches menées au Québec et portant sur la reproduction sexuée et asexuée des conifères et des arbres feuillus permettent de mieux connaître les mécanismes reproducteurs de douze essences commerciales.

AMÉNAGEMENT DES VERGERS

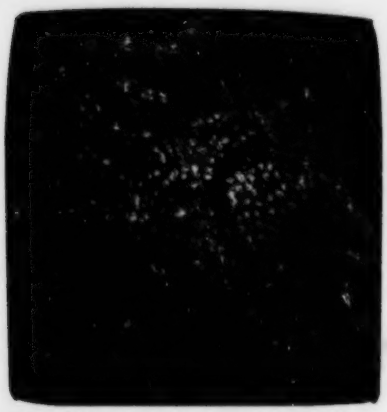
Les vergers à graines de première génération sont pour la plupart en pleine production et offrent donc aux chercheurs des sites d'étude exceptionnels. On peut y étudier, entre autres, l'influence des conditions du milieu sur la production de cônes et l'efficacité de certaines techniques culturales sur la stimulation de la floraison. Des recherches ont même montré que les vergers à graines d'épinette noire et d'épinette blanche établis sur des sols à prédominance sableuse produisent beaucoup plus de cônes que les vergers établis sur tout autre type de site.

L'information tirée des études réalisées dans les vergers de première génération permettra de maximiser l'aménagement des vergers à graines de deuxième génération et, ainsi, de tirer profit rapidement des gains génétiques escomptés tout en maintenant la diversité génétique et en réduisant les coûts d'opération. L'aménagement des nouveaux vergers sera orienté vers un meilleur contrôle de la floraison, de la pollinisation et de la protection des cônes. Ces nouveaux principes, basés sur la connaissance de la biologie florale, serviront à mieux comprendre les processus de formation et de développement des bourgeons floraux, des embryons et des graines. Ainsi, on étudie, entre autres, l'influence des conditions climatiques, de même que l'origine et le déplacement du pollen.

La recherche porte également sur l'identification de techniques, culturales ou autres, à offrir aux aménagistes afin de maximiser la production et les gains génétiques. Parmi les techniques étudiées, mentionnons l'effet des caractéristiques des sols et l'influence des régimes de fertilisation azotée sur la stimulation de la floraison. D'autres pratiques, comme la taille des racines, les stress (la chaleur ou des sécheresses répétées) ainsi que les injections de gibbérellines, famille de régulateurs de

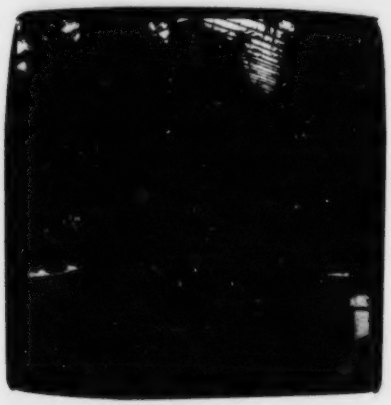
Comparaison de graines d'épinette blanche issues d'un verger à graines conventionnel (les plus petites) et d'un verger sous abri avec une fertilisation riche en azote (les plus grosses).

Comparaison de cônes femelles d'épinette blanche issus d'un verger à graines conventionnel (les plus petits) et d'un verger sous abri avec une fertilisation riche en azote (les plus gros).

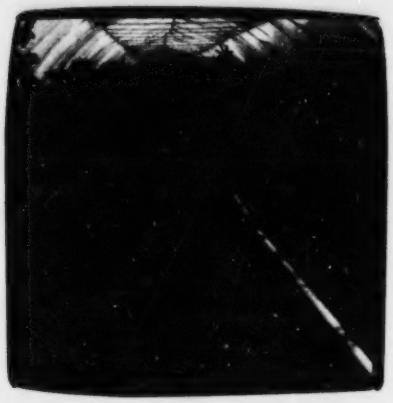


Coupe longitudinale d'un ovule de pin blanc.

Grains de pollen germés d'épinette de Norvège.



Verger sous abri de mélèze avec un système d'irrigation goutte-à-goutte.



Verger sous abri d'épinette blanche.

croissance, sont également à l'étude. Ces techniques permettent aussi de stimuler des floraisons abondantes, particulièrement chez les arbres cultivés en pot et maintenus dans des enceintes permettant de contrôler les conditions environnementales. Pour l'instant, plusieurs de ces techniques sont réservées aux vergers expérimentaux, mais elles pourraient être mises à profit très bientôt dans des vergers opérationnels.

POLLINISATION DE MASSE

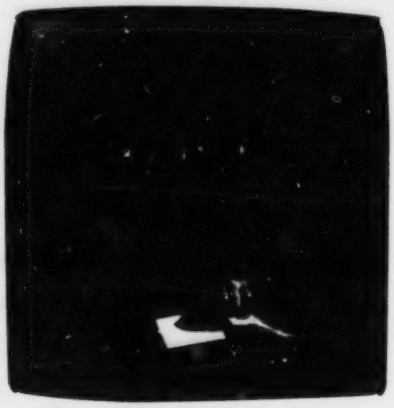
La pollinisation de masse consiste en une pollinisation artificielle d'un très grand nombre d'arbres avec un mélange de pollen provenant d'arbres génétiquement améliorés. Elle s'effectue le plus souvent à l'aide d'un pistolet électrostatique, mis au point au Québec. Cette technique permet de réduire la quantité de pollen nécessaire et le temps d'application.

La pollinisation de masse a pour but d'augmenter le rendement en graines d'un verger, d'atteindre le gain génétique anticipé ou de s'en rapprocher, et d'accroître la diversité génétique du matériel destiné au reboisement. De plus, elle permet de réduire les risques d'autofécondation et elle diminue le taux d'avortement des cônes femelles. Chez les conifères, la floraison mâle n'apparaît souvent que quelques années après le début de la floraison femelle. Grâce à la pollinisation de masse, il est possible d'accélérer la mise en production d'un verger.

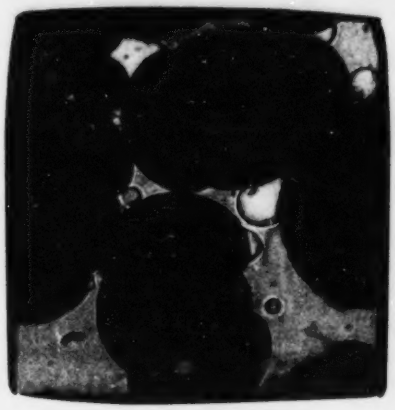
SUIVI DE LA CONTAMINATION POLLINIQUE

Les vergers à graines établis au Québec sont souvent implantés dans l'environnement même où les arbres-plus ont été sélectionnés. Cette stratégie présente l'avantage de permettre aux arbres semenciers du verger de se développer dans des conditions environnementales semblables à celles de leurs parents. Par contre, elle présente l'inconvénient d'accroître les risques de contamination par du pollen étranger au verger et, donc, de

Pollinisation de masse dans le verger à graines d'épinette blanche dans le canton de Romieu à l'aide du pistolet électrostatique.



Récolte du pollen destiné au suivi de la contamination pollinique dans les vergers à graines.



Grain de pollen de sapin baumier, de pin gris et de bouleau captés par un piège à pollen.

Étêtage de la pousse annuelle de pin blanc.

source inconnue ou indésirable. Cette contamination entraîne inévitablement une baisse du gain génétique du verger.

Le taux de contamination peut être évalué après l'établissement du verger. De la sorte, on détermine si une intervention sylvicole est nécessaire pour diminuer la contamination et, dans l'affirmative, on identifie le type d'intervention appropriée. Avant de procéder à l'intervention, il faut bien identifier la ou les sources de pollen et mesurer à la fois le niveau de contamination ainsi que sa variation annuelle.

ÉTÊTAGE DES CIMES

La recherche sur l'étêtage des cimes vise à limiter la hauteur des arbres d'un verger à graines sans réduire la production de graines dans le but de faciliter la récolte des cônes et de diminuer les coûts.

Dans l'aménagement des vergers à graines, les recherches visent à développer des moyens de maintenir les arbres des vieux vergers à une hauteur qui permet une gestion efficace (environ 6 mètres de hauteur). On cherche aussi à établir des régimes de taille des jeunes arbres permettant de régulariser leur hauteur et de modifier leur cime pour accroître le nombre de sites potentiels de floraison.

LUTTE CONTRE LES RAVAGEURS DES VERGERS

La plupart des vergers à graines sont gérés de façon à produire un maximum de semences le plus rapidement possible. La présence d'insectes s'attaquant aux cônes et aux graines ne peut y être tolérée puisqu'elle occasionne des pertes importantes, surtout durant les années de bonne production. Ces insectes peuvent freiner considérablement la production de semences dans les vergers à graines d'épinette blanche, d'épinette noire et de mélèzes alors que, chez les autres essences, les pertes occasionnées par les ravageurs sont plus sporadiques. Comme les peuplements sont moins denses dans les vergers à graines qu'en forêt, ils constituent, pour certains insectes, un environnement plus favorable à leur développement. Par exemple, les dommages causés par la pyrale des cônes du sapin, la tordeuse des graines de l'épinette et la mouche granivore de l'épinette sont mineurs en forêt, alors qu'ils peuvent occasionner de lourdes pertes dans les vergers à graines.

Les recherches dans la lutte contre les ravageurs contribuent à mettre au point des moyens de réprimer les populations d'insectes. C'est ainsi que des insecticides biologiques et chimiques ont été mis à l'essai pour contrer les méfaits des ravageurs des graines et des cônes. D'autres recherches sont en cours en vue de mettre au point des systèmes de piégeage pour surveiller les populations d'insectes et perturber les femelles en période de ponte.

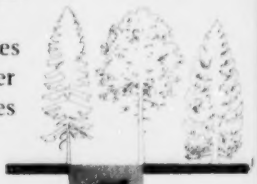
MULTIPLICATION VÉGÉTATIVE

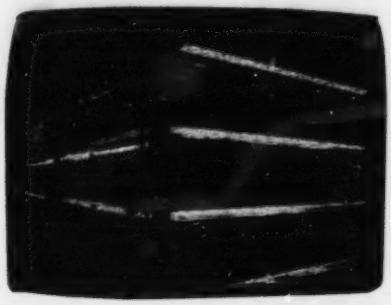
Les techniques de multiplication végétative ouvrent de nouvelles portes en matière d'amélioration des arbres et de reboisement au Québec. En effet, cette voie de multiplication crée des copies identiques des meilleurs individus. Divers organismes effectuent depuis plusieurs années des recherches sur la multiplication végétative de plusieurs essences commerciales de conifères, par bouturage ou par embryogenèse somatique. On a peu recours aux techniques de greffage pour les résineux, en raison de leur coût élevé, sauf lors de l'établissement de vergers à graines d'épinette blanche, d'épinette de Norvège ou de mélèzes.

Le centre de bouturage de la pépinière de Saint-Modeste livre chaque année plus de deux millions de plants résineux issus de boutures. Ce centre multiplie ainsi les graines obtenues en petites quantités de croisements dirigés entre arbres d'élite. Chaque croisement correspond à une famille et plusieurs familles sont regroupées en variétés multifamiliales. Le bouturage permet ensuite de les multiplier en vrac pour augmenter le nombre de plants livrés de ces variétés supérieures. Ainsi, le bouturage sert à multiplier des plants d'une qualité génétique supérieure à celle des semis issus des vergers à graines.

Le système «Bouturathèque», unique au monde, a été mis au point par le ministère des Ressources naturelles du Québec. Les installations comprennent un ensemble de mini-serres éclairées artificiellement, permettant d'effectuer jusqu'à cinq cycles de bouturage par année. Actuellement, la production de boutures d'épinette noire (93 %) prédomine sur celle d'épinette blanche (6 %) et d'épinette de Norvège (1 %). Les travaux actuels visent à augmenter la production pour ces deux dernières espèces. Par ailleurs, le bouturage remplace maintenant le greffage pour reproduire les clones d'épinette noire destinés aux vergers à graines de deuxième génération, ce qui engendre des économies substantielles.

Les boutures enracinées peuvent aussi remplacer les semis dans le cas des

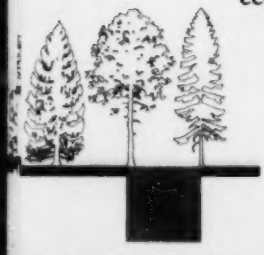




Étagère de la bouturathèque de la pépinière de Saint-Modeste.

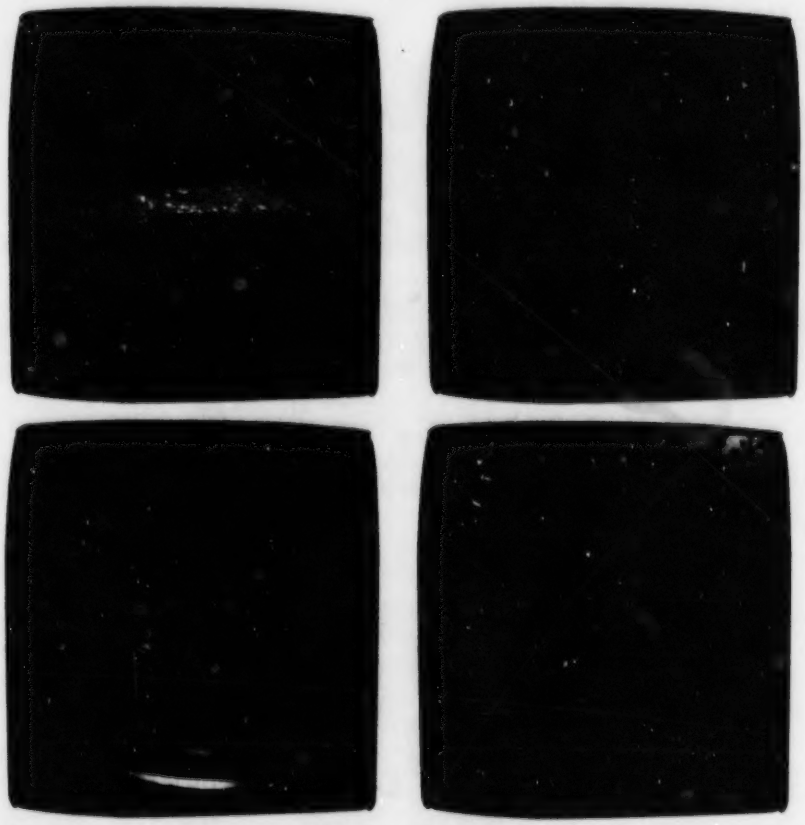
essences qui produisent peu de semences, comme le mélèze hybride. La demande pour cette espèce à croissance rapide s'est accrue considérablement au cours des dernières années. Malheureusement, l'approvisionnement en semences de qualité génétique reconnue ne peut répondre à la demande. La mise au point d'une technique de bouturage sous tunnel, avec système de brumisation qui pulvérise de fines goutelettes d'eau, permettra bientôt de satisfaire la plus grande partie de la demande par des plants issus de boutures. Des recherches ont permis d'élaborer des techniques pour la gestion des pieds-mères et pour l'enracinement des boutures. D'autres travaux seront encore nécessaires pour perfectionner la culture des boutures une fois enracinées. D'ici quelques années, l'objectif de production devrait atteindre 0,5 à 1 million de boutures de mélèze hybride.

Cinq pépinières de Forêt Québec produisent également des plants de peuplier hybride issus de boutures. En 2000, leur production totale dépassera 1,1 million de plants. Plus d'une cinquantaine de clones, sélectionnés pour les différentes régions écologiques du Québec, sont cultivés en quartiers de pieds-mères pour produire des boutures. Celles-ci sont ensuite repiquées en pleine terre en pépinière et cultivées pendant une seule saison pour produire des plants d'environ 1,5 m de hauteur et plus. La poursuite des travaux d'amélioration génétique permet de renouveler constamment le matériel pour tenir compte des toutes dernières sélections.



BIOTECHNOLOGIE DES ARBRES

La multiplication des végétaux, par culture *in vitro* plutôt qu'à partir de boutures ou de semences, pourrait jouer un rôle important dans le reboisement et les programmes d'amélioration génétique des arbres. Le principal avantage de la culture *in vitro* est sa capacité de multiplier des végétaux– comme la multiplication clonale de génotypes supérieurs issus de croisements – en très grandes quantités et d'accélérer l'utilisation de matériel amélioré. Si l'objectif à long terme de la culture *in vitro* et de la génétique moléculaire est de produire du matériel amélioré pour le reboisement, c'est comme outils de recherche pour comprendre les propriétés moléculaires et cellulaires de base de nos espèces forestières qu'elles trouvent pour l'instant leur plus grande utilité.



Des cultures d'embryons somatiques (non issus d'une fécondation) de conifères peuvent être obtenues à partir d'embryons de graines. Les cellules placées en culture in vitro prolifèreront rapidement et spontanément pour produire de grandes quantités de tissus embryogènes. En jouant avec l'équilibre hormonal du milieu, on peut faire en sorte que les tissus se différencient en embryons somatiques, lesquels « germeront », pour produire des plantules. Les tissus embryogènes peuvent être conservés durant des années par cryoconservation dans l'azote liquide, ce qui permet ainsi la réalisation des tests clonaux et la sélection des meilleurs clones après plusieurs années de croissance.

Divers organismes de recherche s'efforcent de mettre au point des méthodes de culture *in vitro* qui soient pratiques et économiques pour certains des conifères commerciaux importants du Québec. On a réussi la multiplication par embryogenèse somatique de l'épinette noire et de l'épinette blanche (clonage en un nombre théoriquement infini d'exemplaires) et on a mis les premiers plants en terre pour en étudier la performance à long terme. L'épinette de Norvège, les mélèzes, le pin blanc et le pin gris font aussi l'objet de projets de recherche portant sur la multiplication des meilleures variétés par embryogenèse somatique.

Non seulement la culture *in vitro* peut-elle jouer un rôle considérable dans les programmes classiques d'amélioration des arbres, mais elle peut aussi fournir les tissus végétaux nécessaires aux travaux de génie génétique touchant les conifères. Grâce au génie génétique, il est possible d'introduire dans les arbres des gènes d'autres organismes qui leur conféreront des caractères désirables comme la résistance à des maladies, à des insectes et à des herbicides. Des projets de recherche en cours utilisent un micro-organisme ou la biolistique (bombardement au moyen de microprojectiles recouverts de l'ADN qu'on souhaite insérer dans la cellule) pour faciliter le transfert de gènes dans des conifères et des peupliers. Présentement, ces techniques sont utilisées avec succès pour transférer des gènes de résistance aux insectes et aux maladies. Des essais visant à valider l'expression des nouveaux gènes introduits et leur permanence chez les arbres transformés sont en cours.

CONCLUSION

L'amélioration génétique des arbres constitue la base des programmes de reboisement des principales essences commerciales. Elle joue un rôle crucial dans le maintien et l'amélioration de nos capacités de production de matière ligneuse. Le développement des vergers à graines, associé aux programmes d'amélioration génétique en place, permet de fournir, sur une base de plus en plus régulière, les semences améliorées nécessaires au reboisement au Québec. Pour plusieurs essences, les besoins en matière de reboisement seront satisfaits par les semences produites dans les vergers. Grâce à la recherche, on continue à perfectionner et à raffiner les techniques et les méthodes de production de semis, de plantation et d'aménagement des plantations. L'application des résultats de la recherche, associée à l'utilisation dès le départ dans les plantations de matériel génétiquement amélioré, assurera aux programmes sylvicoles en place des gains considérables en matière de volume et de valeur des récoltes.

Des étapes importantes ont été franchies dans les programmes d'amélioration des arbres. La plupart des vergers à graines d'épinette noire et de pin gris de première génération ont été éclaircis sur la base des résultats des tests de descendances, ce qui améliore la qualité génétique des semences produites. L'ensemble des vergers en place assure actuellement plus de 35 % de l'approvisionnement en semences de qualité. Les travaux pour la mise en place des vergers à graines de deuxième génération d'épinette noire et d'épinette blanche ont été entrepris, et leur production donnera lieu à des améliorations importantes de la qualité génétique des semences.

Pour certaines espèces, comme les mélèzes hybrides, on est à mettre au point un concept de verger sous abri appuyé par une technologie de pointe pour la pollinisation, afin d'accélérer la production opérationnelle de semences hybrides sous environnement contrôlé. Ce concept a déjà fait ses preuves pour l'épinette blanche, puisqu'il a permis d'accélérer le programme de croisements dirigés et l'établissement de tests de descendances de génération avancée.

Les essais de provenances continueront à fournir des informations précieuses pour l'établissement et la révision des lignes directrices concernant les règles de déplacements des semences d'une région à une autre.

La recherche en biotechnologie des conifères a progressé rapidement. Bien qu'il soit peu probable que la biotechnologie remplace les méthodes classiques d'amélioration des arbres, elle peut constituer un apport précieux dans les programmes de sylviculture intensive. Lorsque des clones performants d'épinettes auront été identifiés, la culture *in vitro* permettra de les multiplier en grand nombre. Grâce au génie génétique, du matériel génétiquement transformé pouvant présenter des caractéristiques de résistance aux ravageurs fait déjà l'objet d'essais.

L'amélioration génétique des arbres au Québec continuera de progresser et, grâce à une coopération soutenue entre tous les partenaires, praticiens et chercheurs, les générations futures pourront bénéficier d'un approvisionnement abondant en bois de qualité.

GLOSSAIRE

Allèle : chacune de la gamme possible des mutations d'un gène donné. Les allèles sont également définis comme des gènes situés à un même endroit (locus) sur des chromosomes homologues.

Amélioration génétique : science ou art de modifier la constitution génétique d'une population de plantes ou d'animaux dans une direction donnée.

Aptitude générale à la combinaison (AGC) : capacité relative d'un individu à transmettre sa supériorité génétique à ses descendants, à la suite d'un croisement quelconque.

Aptitude spécifique à la combinaison (ASC) : capacité relative d'un individu à transmettre sa supériorité génétique à ses descendants, à la suite d'un croisement avec un individu particulier.

Arboretum : plantation dont le but principal est de réunir une collection d'arbres (souvent exotiques) pour les évaluer, les conserver et, éventuellement, les utiliser comme parents dans des expériences de génétique forestière.

Arbre-plus : arbre dont le phénotype est supérieur à celui de la moyenne des arbres du même âge croissant sur un site de même qualité, que ce soit par son volume, sa qualité, sa résistance ou une combinaison de ces caractères.

Arbre d'élite : arbre dont la supériorité génétique a été prouvée par un test de descendances approprié.

Autofécondation : mode de fécondation par lequel les organes femelles sont fécondés par le pollen du même individu.

Avortement (des cônes) : mort prématurée d'un organe, qui n'atteindra pas son plein développement.

Banque de clones : collection d'individus identifiés et reproduits par voie végétative. Il peut s'agir d'un parc à clones ou, encore, de lignées de cellules conservées à très basses températures dans l'azote liquide. Voir cryoconservation.

Biodiversité (ou diversité biologique) : variabilité des organismes vivants de toute origine y compris, entre autres, des écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et des complexes écologiques dont ils font partie ; cela comprend la diversité au sein des espèces (diversité génétique) et entre espèces ainsi que celle des écosystèmes.

Biotechnologie : ensemble de techniques biologiques issues de la recherche fondamentale, et maintenant utilisées en recherche appliquée et au développement de produits industriels. Ces techniques comprennent notamment le génie génétique, la fusion de cellules et la multiplication à grande échelle par des techniques de culture *in vitro*, comme l'embryogenèse somatique.

Bouturage : multiplication végétative par l'enracinement de fragments de végétaux (tiges, feuilles ou racines). Voir bouture.

Bouturathèque : étagère à plusieurs niveaux dans laquelle on aménage des mini-serres éclairées artificiellement afin d'y placer les boutures pendant leur phase d'enracinement. Par extension, on appelle " système Bouturathèque " l'ensemble du système de bouturage de la pépinière de Saint-Modeste.

Bouture : partie d'une tige, d'un rameau, d'une racine, etc. détachée d'un pied-mère et employée pour produire une nouvelle plante qui aura le même génotype.

Cartographie génétique : établissement d'une carte des chromosomes, c'est-à-dire une représentation de la répartition linéaire des gènes sur un chromosome.

Clone : ensemble d'individus génétiquement identiques (ramets), issus d'une même plante (ortet) par multiplication végétative.

Consanguin : qualifie un croisement entre individus ayant au moins un ascendant commun.

Contamination pollinique : pollinisation par du pollen d'origine indésirable ou inconnue. Ce terme s'applique particulièrement dans l'aménagement des vergers à graines, lors des travaux de pollinisation dirigée ou de la production de semences.

Croisement dirigé : croisement artificiel de deux individus réalisé par l'intermédiaire de l'homme, par opposition au croisement libre ou par le vent.

Cryoconservation : technique qui consiste à conserver des tissus vivants ou morts à de très basses températures (en général, dans l'azote liquide à -196 °C).

Culture *in vitro* : ensemble de techniques de culture d'organismes ou de cellules vivantes, en milieu artificiel et stérile, hors d'un organisme vivant, et permettant notamment d'obtenir de nombreuses copies d'un clone. Voir embryogenèse somatique.

Descendance : progéniture ; ensemble des individus issus d'un croisement. Voir famille.

Diversité génétique : ensemble des variations du bagage génétique des individus d'une espèce donnée, au sein d'une communauté. Cette diversité confère à une population la possibilité de s'adapter (au sens génétique) aux variations environnementales, ce qu'un individu ne peut faire.

Éclaircie génétique : l'action ou la pratique d'enlever d'un verger à graines certains individus, familles ou clones, en se basant sur l'évaluation génétique qui en a été faite.

Embryogenèse somatique : procédé de culture *in vitro* qui résulte en la formation d'embryons à partir de cellules somatiques, c'est-à-dire non reproductrices, donc sans passer par la fécondation. Ce phénomène permet d'obtenir de nombreuses copies identiques d'un individu. Voir multiplication végétative.

Embryon : ensemble de cellules issues de l'union des gamètes mâles et femelles (le zygote) et donnant naissance à une plantule au sein de la graine.

Embryon somatique : voir embryogenèse somatique.

Essai de provenances : plantation établie selon un plan statistique approprié pour évaluer des populations d'une même espèce, d'origines géographiques variées.

Étêtage : opération qui consiste à couper la cime d'un arbre de manière à en réduire les dimensions ou à en orienter la forme. Dans les vergers à graines, l'étêtage a pour objet de concentrer la production de cônes à un niveau plus près du sol et donc de réduire les coûts de récolte, sans nuire à la production et à la qualité des semences.

Famille : groupe d'individus qui ont au moins un parent commun. Les individus issus de pollinisation libre forment une famille uniparentale (demi-fratrie), alors que ceux issus d'un croisement dirigé forment une famille biparentale (fratrie).

Fratrie : voir famille.

Gain génétique : amélioration génétique moyenne des descendants d'individus sélectionnés par rapport à la génération de leurs parents. Elle est fonction de l'intensité de sélection, de la variation et de l'héritabilité du caractère considéré.

Génécologie : étude de la variabilité intraspécifique des populations en relation avec leur milieu.

Génétique : étude scientifique des modalités de l'hérédité des caractères chez les êtres vivants.

Génétique moléculaire : branche de la génétique qui étudie l'expression et la régulation de l'information génétique par l'ADN, l'ARN et les protéines.

Génétique quantitative : branche de la génétique qui étudie l'hérédité des caractères mesurables. L'un de ses objectifs est de démontrer comment les différences entre individus apparentés peuvent servir à prévoir le résultat de la sélection.

Génie génétique : manipulation du bagage génétique d'un organisme, par l'introduction ou l'élimination volontaire de gènes, grâce à des techniques de biologie moléculaire, comme la transformation génétique.

Génome : l'ensemble des gènes présents dans un organisme.

Génotype : constitution héréditaire d'un individu pour un ou plusieurs caractères particuliers.

Gibbérellines : régulateurs de croissance chez les végétaux, actifs dans la germination de semences, l'allongement de cellules et la division cellulaire, la levée de la dormance des bourgeons, la formation des fleurs et le mûrissement de fruits.

Greffage : mise en contact étroit, cambium contre cambium, d'une partie de plante, bourgeon ou rameau, avec une autre plante de façon à ce qu'il y ait union et croissance. La plante entière sur laquelle s'effectue le greffage, comprenant tige et racines, se nomme porte-greffe. La partie greffée est le greffon. Dans une greffe, la partie aérienne et le système radiculaire conservent leur génotype respectif. Le greffage constitue donc un moyen efficace de multiplier des plantes d'une importance génétique spéciale. Voir multiplication végétative.

Greffon : bourgeon ou partie de rameau prélevé d'une plante, et destiné à être greffé sur un porte-greffe. Voir greffage et multiplication végétative.

Hybridation : croisement consistant à accoupler des individus de constitutions génétiques différentes. Voir hybride.

Hybride : au sens strict, descendant d'un croisement entre individus d'espèces différentes. Au sens large, le terme est employé aussi bien pour désigner le produit d'un croisement interspécifique (entre espèces différentes) que d'un croisement intraspécifique (entre individus d'une même espèce, notamment de races ou de variétés différentes).

Induction florale : stimulation, par divers traitements ou manipulations, de la production des fleurs.

Multiplication clonale : reproduction à grande échelle de clones sélectionnés, en maintenant leur identité individuelle. Voir multiplication végétative.

Multiplication végétative : reproduction d'une plante par voie asexuée, c'est-à-dire par greffage, bouturage, marcottage, embryogenèse somatique, etc. Le bagage génétique des plantes obtenues selon ce mode de reproduction est théoriquement identique à celui de la plante-mère.
Syn. : reproduction asexuée, reproduction végétative.

Parc à clones : plantation d'individus identifiés et reproduits par voie végétative. Ils constituent souvent une réserve destinée à conserver des ressources génétiques en vue de la sélection et de croisements ultérieurs, ainsi qu'à remplacer les ramets perdus dans les vergers à graines clonaux. Voir banque de clones.

Phénotype : l'ensemble des caractères exprimés d'un individu et résultant de l'action combinée de son génotype et du milieu.

Pied-mère : plante cultivée pour la production de boutures.

Pollinisation : dépôt du grain de pollen sur l'organe réceptif femelle d'une plante.

Pollinisation artificielle : pollinisation réalisée délibérément par l'entremise de l'être humain. Ce terme comprend entre autres la pollinisation dirigée et la pollinisation de masse.

Pollinisation croisée : pollinisation libre ou dirigée d'un individu par un autre.

Pollinisation de masse : pollinisation artificielle d'un grand nombre de fleurs femelles à la fois, et qui, en conséquence, demande des quantités importantes de pollen. Cette technique permet de polliniser un très grand nombre d'arbres à la fois.

Pollinisation dirigée : transfert du pollen d'une source connue à un parent femelle connu, dans des conditions telles que tout pollen étranger est exclu. Voir pollinisation artificielle.

Pollinisation libre : pollinisation effectuée naturellement, sans intervention de l'homme.

Provenance : origine géographique initiale et naturelle d'un lot de semences, de pollen, de boutures ou de greffons. Une provenance est représentée par les semences, le pollen ou les descendants de plusieurs arbres. Si, par exemple, des graines d'épinette noire ont été récoltées à Val-d'Or et qu'elles se retrouvent dans un test à Gaspé, on y fera référence comme de la provenance Val-d'Or. Voir source.

Reproduction asexuée : voir multiplication végétative.

Reproduction sexuée : reproduction par la fusion de deux cellules sexuées (gamètes), mâle et femelle, pour qu'un nouvel organisme soit formé. C'est le cas de la production de graines chez les végétaux.

Sélection (artificielle ou dirigée) : choix par l'homme des individus supérieurs, soit à partir de leurs seuls attributs phénotypiques (sélection massale ou phénotypique d'arbres-plus), soit à partir de la performance de leurs descendants (sélection génétique d'arbres d'élite). La sélection artificielle s'oppose ainsi à la sélection naturelle, processus par lequel la nature limite elle-même la reproduction à certains individus les mieux adaptés.

Source : au sens génétique, il s'agit de l'origine géographique d'un lot de semences, de pollen, de boutures ou de greffons. Si, par exemple, on récolte des graines d'épinette sur des arbres de la provenance Val-d'Or qui sont plantés dans un test à Gaspé, il s'agira de la source Gaspé de la provenance Val-d'Or. Voir provenance.

Test clonal : plantation comparative permettant d'évaluer des individus multipliés végétativement, c'est-à-dire sous forme de clone.

Test de descendances : plantation établie selon un plan statistique approprié pour évaluer la valeur génétique de certains parents à partir des performances de leurs descendants.

Test de provenances-descendances : plantation établie selon un plan statistique approprié pour évaluer à la fois la valeur de descendances et de provenances.

Tissu embryogène : groupe de cellules cultivées *in vitro*, et capables de se différencier pour former des embryons somatiques.

Variété multifamiliale : groupe de familles sélectionnées destinées à une zone d'amélioration génétique particulière.

Verger à graines : plantation aménagée pour une production rapide et abondante de semences améliorées pour le reboisement, notamment en évitant la pollinisation par des individus non désirables. On peut les qualifier de première ou de deuxième génération, selon l'état d'avancement des programmes d'amélioration génétique.
Voir verger de semis et verger clonal.

Verger clonal : verger à graines composé de semenciers issus de clones multipliés végétativement (habituellement par greffe), par opposition à un verger de semis.

Verger de semis : verger à graines composé de semenciers issus de familles sélectionnées, par opposition à un verger clonal.

Viabilité (du pollen) : capacité (du pollen) de vivre, de croître et de se développer.

Zone d'amélioration génétique : limites géographiques à l'intérieur desquelles on suppose qu'une espèce donnée présente des caractéristiques génétiques relativement uniformes quant à l'adaptation. La délimitation des zones est faite sur la base de données géographiques, climatiques ou écologiques, permettant un déplacement sécuritaire des semences. Les zones diffèrent d'une espèce à l'autre.